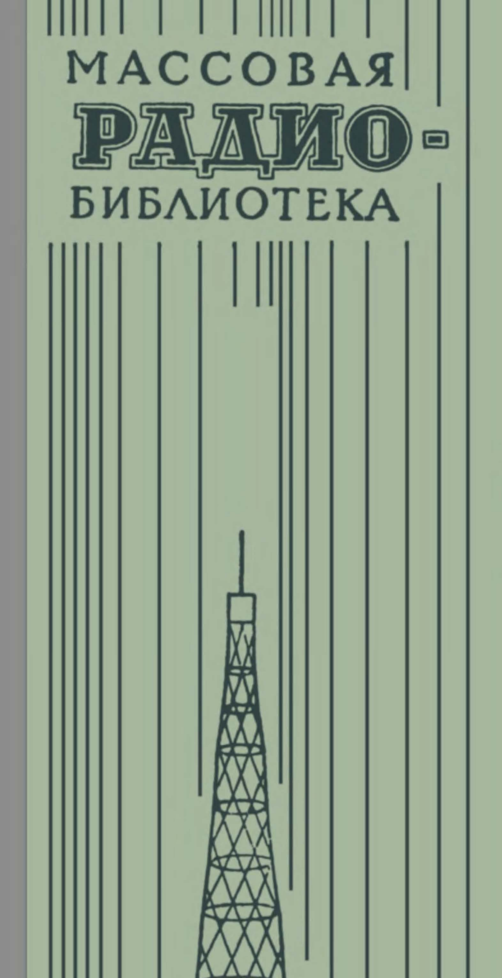




МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

В. К. ЛАБУТИН

КНИГА РАДИОМАСТЕРА



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

КНИГА РАДИОМАСТЕРА



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 234

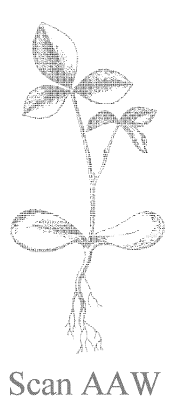
В. К. ЛАБУТИН

КНИГА РАДИОМАСТЕРА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1955 ЛЕНИНГРАД



Книга составлена в виде учебного и справочного пособия для радиомастеров ремонтных мастерских и содержит принципиальные сведения по установке, ремонту, налаживанию и испытанию радиовещательных приемников и усилительных устройств. Она содержит также важнейшие сведения по математике, черчению, электрорадиотехническим расчетам, электротехническим материалам, слесарному делу и по организации радиоремонтных мастерских.

Теоретические сведения изложены в ней в тесной связи с практикой.

Книга рассчитана на радиомастеров, в том числе сельских, а также на широкий круг радиолюбителей.

Автор *Лабутин Вадим Константинович*
КНИГА РАДИОМАСТЕРА

* * *

Редактор *Д. А. Конашинский* Технич. редактор *И. М. Скворцов*

Сдано в набор 19/VII 1955 г. Подписано к печати 2/XI 1955 г.
Бумага $84 \times 108^1/_{16}$ Объем 22,14 п. л. Уч.-изд. л. 26,5
Т-08189 Тираж 25 000 экз. Цена 12 р. 10 к. Заказ 328

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В течение последних лет значительно выросла радиовещательная сеть нашей страны, в ряде районов завершена сплошная радиофикация, расширился ассортимент радиоприемников, выпускаемых нашей промышленностью.

Вместе с увеличением производства радиоаппаратуры появляется потребность в расширении сети радиоремонтных ателье и мастерских, в повышении качества их работы. Почетную роль в подготовке кадров для этих мастерских играют ремесленные училища, но значительное количество ремонтников или, как принято их называть, радиомастеров выходит из среды радиолюбителей, не получивших специального образования.

На последнюю категорию лиц в основном и рассчитана данная книга. В ней собраны важнейшие сведения по ряду отраслей техники, сочетание которых составляет основу практической деятельности радиомастера.

Примерно по такому же плану была написана книга R. Schadow «Funkwerktechnik», издание перевода которой и было первоначально намечено издательством. Однако ряд недостатков указанной книги, особенно в отношении увязки вспомогательных технических дисциплин и теоретических разделов с радиоремонтной практикой, заставил в дальнейшем отказаться от ее издания на русском языке, хотя часть материала ее оказалось возможным использовать в данной книге.

В книге обобщены многообразные знания, которыми должен располагать квалифицированный радиомастер, начиная от элементарных приемов пользования рабочим инструментом и кончая обнаружением и устранением повреждений в радиоприборах, монтажем радиоустройств и т. д.

Сведения, необходимые для выполнения такого круга задач, не могут быть представлены в виде какого-то перечня исчерпывающих рецептов, который давал бы ответы на любые вопросы, возникающие в повседневной практической работе радиомастера. Только умение радиомастера самостоятельно ориентироваться в принципах работы радиоаппаратуры может указать ему наикратчайший путь к выявлению и устранению неисправностей, к которому следует прибегнуть в каждом конкретном случае. Поэтому в настоящей книге нет готовых рецептов по ремонту того или иного типа приемников, нет и подробного описания всевозможных дефектов, которые могут встретиться в радиоаппаратуре. Но она содержит значительное число принципиальных теоретических сведений, усвоение которых даст возможность сознательно производить ремонт радиоприборов независимо от их схемы.

Методической особенностью изложения является представление теории в тесной связи с ремонтной практикой, пояснение всякого теоретического положения и формулы примерами из практики.

Поскольку систематическое изложение теории всех дисциплин, имеющих отношение к практике радиомастера, потребовало бы чрезмерного увеличения объема книги и в конечном счете могло бы затруднить освоение читателем наиболее важных вопросов, материал ряда разделов подвергся строгому отбору, и мы умышленно придали некоторым главам («Математика», «Электрорадиотехнические расчеты») справочный характер, поместив в них не систематические курсы, а лишь наиболее важные для радиомастера сведения.

Несмотря на то, что каждая глава книги представляет законченное изложение самостоятельного раздела, выбранная последовательность их определена как соподчиненностью самих разделов, так и степенью использования сообщенных раньше сведений. Поэтому рекомендуется при освоении материала книги не нарушать принятой в ней последовательности.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

МАТЕМАТИКА

Радиомастер должен не только хорошо владеть инструментом, но и находить наиболее простое решение поставленной задачи путем необходимых расчетов. Для этого он должен владеть хотя бы основами математики.

Знание элементарных основ математики необходимо и для уяснения теоретических основ электротехники и радиотехники, а также при производстве всевозможных измерений.

Цель этой главы книги и состоит в том, чтобы напомнить радиомастеру элементарные сведения из математики, которыми ему наиболее часто придется пользоваться в повседневной работе.

1. НЕКОТОРЫЕ ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С ЧИСЛОМ

Приближенное значение. Радиомастеру, как правило, не требуется большой точности вычислений и в большинстве случаев достаточно пользоваться числами только с первыми двумя-тремя значащими цифрами. С такой точностью, например, указывается величина сопротивлений. Если сопротивление маркировано на «82 000» *ом*, то истинная величина его может лежать, по крайней мере, в пределах от 81 500 до 82 500 *ом*, например 82 147 *ом*. Тогда число «82 000» называют приближенным значением числа 82 147 и обозначают его $\approx$ 82 000 (знак $\approx$ является стандартным обозначением приближенного равенства). Это приближенное значение получено заменой всех цифр, стоящих после первых двух, нулями и потому гарантирует точность только до второго знака. Приближенным числом с двумя верными знаками будет и дробь 0,082, так как нули впереди значащих цифр не принимаются во внимание (кстати, 0,082 *мгом* = 82 000 *ом*). Приближенное значение величины того же сопротивления с точностью до третьего знака будет 82 100 *ом*, или 0,0821 *мгом*.

В большинстве случаев радиомастера удовлетворяют расчеты с точностью до второго знака, поэтому все встречающиеся ему многозначные числа надо заменить приближенными или «округлить» их.

Округление чисел. Для округления числа отбрасываемые знаки его заменяют нулями. Например, 48 426 $\approx$ 48 000. Если при этом первая из отбрасываемых цифр больше 5, то к последней сохраняемой цифре прибавляют единицу (например, 6 584 $\approx$ 6 600). Когда отбрасываемая часть числа состоит из одной только цифры 5, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу лишь в том случае, если она нечетная (например, 175 $\approx$ 180, но 165 $\approx$ 160). При округлении десятичных дробей руководствуются теми же правилами. Надо помнить только, что в количество верных сохраняемых знаков не входят нули, стоящие впереди значащих цифр (например, 0,01624 $\approx$ 0,016; 6,378 $\approx$ 6,4; 8,95 $\approx$ 9,0, но 8,85 $\approx$ 8,8).

Округление значений углов и дуг. Углы и дуги (дугой называется часть окружности) измеряются градусами (°), минутами (′) и секундами (″), причем окружность равна 360°, 1° равен 60′ и 1′ равна 60″. Обычно секундами, как слишком мелкой для практических целей единицей, в технике не пользуются. Углы и дуги, выраженные в смешанных единицах, округляются по правилам:

1) если количество минут меньше 30, то их просто отбрасывают (например, 43°25′ $\approx$ 43°);

2) если количество минут больше 30, то, отбрасывая их, число градусов увеличивают на единицу (например, 24°48′ $\approx$ 25°);

3) если количество минут равно 30, то при отбрасывании их число градусов сохраняют прежним или увеличивают на единицу, исходя из соображений удобства дальнейших вычислений.

При вычислениях с приближенными числами следует результат каждого вычисления

округлять с той же точностью, с какой были даны исходные числа (например, $4800 - 1360 = 3440 \approx 3400$; $\frac{57,4}{32} = 1,79 \approx 1,8$; $678 \times 13 = 8814 \approx 8800$).

Сравнение величин. Надо различать два способа сравнения величин: 1) на сколько одна величина больше (или меньше) другой и 2) во сколько раз одна величина больше другой (или, что по существу то же самое, — какую часть одной величины составляет другая). Сравнение первым способом («на сколько») производится вычитанием одного числа из другого, и результат сравнения называется их разностью; сравнение вторым способом («во сколько») производится делением одного числа на другое и результат этого сравнения называется отношением этих чисел.

Разность. Определение арифметической разности двух величин производится вычитанием из большей сравниваемой величины меньшей. Но иногда по условиям технической задачи требуется из меньшей величины вычесть большую, в этом случае разность называется алгебраической.

Пусть требуется, например, определить, насколько больше мощности, потребляемые приемниками «Рекорд» (50 *вт*) и «Нева» (100 *вт*), в сравнении с мощностью, потребляемой приемником «Балтика» (70 *вт*). Очевидно, надо от мощностей «Рекорда» и «Невы» отнять мощность «Балтики»:

$$50 - 70 = -20 \text{ вт}; \quad 100 - 70 = 30 \text{ вт}.$$

Число со знаком минус называется отрицательным числом и в данном случае означает, что мощность, потребляемая приемником «Рекорд», не больше, а меньше на 20 *вт*, чем мощность, потребляемая приемником «Балтика».

Вообще в технике отрицательная величина применяется для указания противоположного в сравнении с другой одноименной величиной смысла. Так, например, температуры ниже нуля (мороз) отмечаются знаком «—» в отличие от жары; при сравнении двух противоположно направленных токов в электротехнике величину одного из них часто считают положительной, а другого — отрицательной. При этом положительные величины необязательно отмечать знаком «+», а отрицательная величина всегда отмечается знаком «—», который отбрасывать нельзя.

Противоположное отрицательному числу положительное число называют абсолютной величиной отрицательного числа и обозначают отрезками прямых. Например, абсолютная величина числа «—5» будет $|-5| = +5$ или просто 5.

Вычисления с отрицательными величинами производят по следующим правилам.

1. Прибавить отрицательное число значит отнять его абсолютную величину. Например, $15 + (-8) = 15 - 8 = 7$; $-10 + (-2) = -10 - 2 = 12$.

2. Отнять отрицательное число значит прибавить его абсолютную величину. Например, $9 - (-12) = 9 + 12 = 21$; $-4 - (-6) = -4 + 6 = 2$.

3. При перемножении или делении положительного числа на отрицательное или отрицательного на положительное получается отрицательный результат. Например, $(-2) \times 7 = -14$; $\frac{45}{(-5)} = -9$.

4. При перемножении или делении двух отрицательных величин результат получается положительный. Например, $(-8) \cdot (-5) = 40$; $\frac{(-36)}{(-9)} = 4$.

Отношение. В то время как разность измеряется в единицах, присущих сравниваемым величинам, отношение не имеет единиц измерения, или, как говорят, измеряется в отвлеченных единицах. Если в предыдущем примере поставить вопрос: «Во сколько раз мощности, потребляемые приемниками «Рекорд» и «Нева», больше мощности, потребляемой приемником «Балтика», то для получения ответа нужно разделить мощности «Рекорда» и «Невы» на мощность «Балтики»:

$$\frac{50}{70} \approx 0,715; \quad \frac{100}{70} \approx 1,43.$$

Число 0,715 означает, что мощность „Рекорда" не больше, а меньше мощности „Балтики" и составляет от нее 0,715. Если мощность „Балтики" (70 *вт*) принять за единицу, то мощность „Рекорда" (50 *вт*) составит 0,715 этой единицы, т. е. отношение $\frac{50}{70}$ равно отношению $\frac{0,715}{1}$ или

$$50 : 70 = 0,715 : 1.$$

Равенство двух отношений называется пропорцией. Для любой пропорции характерно, что произведение средних ее членов всегда равно произведению крайних ($70 \times 0,715 = 50$ и $50 \cdot 1 = 50$) и отношения предыдущих членов и последующих равны

$$\left(\frac{50}{0,715} = 70 \text{ и } \frac{70}{1} = 70\right).$$

Если в пропорции средние члены равны друг другу, то этот повторяющийся член

называется **с р е д н и м   г е о м е т р и ч е с к и м** числом двух остальных членов пропорции. Например, в пропорции $\frac{36}{12}=\frac{12}{4}$ число 12 является средним геометрическим чисел 36 и 4. (см. также стр. 10).

Вместо сравнения величин в долях часто сравнивают их в процентах. **П р о ц е н т о м** называется сотая доля (0,01) какой-нибудь величины. Обозначается процент знаком %. При вычислении процентов одну величину принимают за 100%, тогда вторая величина в процентах по отношению к первой находится умножением ее отношения к первой на 100. Если в предыдущем примере за 100% принять мощность, потребляемую приемником «Балтика» (70 *вт*), то мощность, потребляемая «Рекордом» (50 *вт*), составит $\frac{50}{70}\cdot 100 = 71{,}5\%$.

Погрешность и допуски. Различают погрешности абсолютную и относительную.

Абсолютной погрешностью (ошибкой) называется разность между найденным, измеренным значением величины и ее действительным значением, т. е. определяемым образцовыми мерами или приборами.

Относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины. Относительная погрешность выражается обычно в процентах.

Пример. При измерении сопротивления было найдено его значение $R_1 = 202$ *ом*. Действительная величина сопротивления $R = 200$ *ом*. Абсолютная погрешность измерения равна $R_1 - R = 202$ *ом* — 200 *ом* = 2 *ом*. Относительная погрешность равна

$$\frac{R_1 - R}{R}\cdot 100 = \frac{2}{200}\cdot 100 = 1\%.$$

Так же как и погрешности, можно выражать и допуски. **Д о п у с к** — это допускаемое отклонение (отступление) от номинальной, установленной величины. Например, на корпусе конденсатора указана его емкость 24 *пф* и отклонение ± 2 *пф*. Это значит, что истинная емкость его может отличаться от номинальной (от 24 *пф*) не больше чем на ± 2 *пф* (**а б с о л ю т н ы й** допуск), т. е. должна находиться в пределах от $24 - 2 = 22$ *пф* до $24 + 2 = 26$ *пф*. Пределы допустимых отклонений часто записывают с помощью знака $\div$ (от — до), например $22 \div 26$ *пф*.

Отношение абсолютного допуска к номинальной величине называется **о т н о с и т е л ь н ы м** допуском. В последнем примере относительный допуск равен $\pm\frac{2}{24}\approx\pm 0{,}0$, или $\pm 8\%$, так что на том же конденсаторе можно было написать: 24 *пф* $\pm 8\%$.

Определение предельных значений по допуску. Если дана величина абсолютного допуска, то для определения предельных значений складывают ее с номинальной величиной.

Пример. Номинальный внешний диаметр каркаса звуковой катушки громкоговорителя равен 20,6 *мм*. Допуск равен — 0,05 *мм*. Значит, предельными размерами его являются $20{,}6 + (-0{,}05) = 20{,}55$ *мм* — минимальный и 20,6 *мм* — максимальный. В данном случае отклонение допустимо только в сторону уменьшения, что и обозначает знак минус перед величиной допуска.

Если указан относительный допуск, то сначала определяют по нему абсолютный допуск, а затем уже пределы отклонения.

Пример. Уход частоты гетеродина приемника при некоторых обстоятельствах составил — 1% на частоте 1 500 *кгц*. Какова после ухода его частота?

Так как $-1\% = -0{,}01$ (относительное отклонение), то абсолютное отклонение определится как $1\,500\cdot(-0{,}01) = -15$ *кгц*. Прибавляя это отклонение к номинальной величине, получим $1\,500 + (-15) = 1\,485$ *кгц*.

Знаки неравенства. При сравнении величин часто применяют знаки, позволяющие сокращенно описать различие между этими величинами.

Знак $>$ означает, что величина, стоящая слева от него, больше величины, стоящей справа от него (например, $5>3$). Знак $<$ имеет обратный смысл ($7<10$). Если сравниваемые величины значительно, по крайней мере в 5 — 10 раз, отличаются друг от друга, то применяют сдвоенные знаки (например, $100 \gg 5$ или $3 \ll 200$). Знак $\leqslant$ означает меньше или равно, а знак $\geqslant$ — больше или равно.

Приемы упрощенного умножения и деления. Применение изложенных ниже правил позволяет довольно часто производить умножение и деление в уме, а также ускоряет письменные вычисления.

Умножение на 10, 100 и т. д. Для умножения целого числа на единицу с нулями (на 10, 100) достаточно приписать к этому числу справа столько нулей, сколько их содержится во множителе. При умножении десятичной дроби на единицу с нулями переносится запятая вправо на соответствующее число знаков. Например, $37\cdot 100 = 3\,700$; $0{,}3\cdot 100 = 30$.

Деление на 10, 100 и т. д. Чтобы разделить целое число или десятичную дробь на единицу с нулями, достаточно перенести запятую в делимом влево на столько знаков, сколько нулей содержится в делителе (у целого числа запятая мыслится расположенной вслед за последним его знаком, т. е. $37 = 37{,}0$). Например, $\frac{37}{100} = 0{,}37$; $\frac{0{,}3}{100} = 0{,}003$.

Умножение на 2 может быть заменено сложением данного числа с самим собой ($37 \times 2 = 37 + 37 = 74$).

Умножение на 4 заменяется двухкратным умножением на 2 по предыдущему правилу.

Умножение на 5. Данное число умножают на 10 (см. выше) и результат делят пополам $\left(37 \cdot 5 = ?;\ 37 \cdot 10 = 370;\ \frac{370}{2} = 185\right)$. Подобным образом умножают на 50, 500 и т. д.

Умножение на 25. Число умножается на 100 и результат дважды делят пополам.

Деление на 5 заменяется делением удвоенного значения данного числа на 10 (например, $\frac{37}{5} = ?;\ \ 37 \cdot 2 = 37 + 37 = 74;\ \frac{74}{10} = 7,4\right)$.

Деление на 25 заменяется делением на 100 учетверенного значения данного числа $\left(\frac{37}{25} = ?;\ 37 \cdot 4 = 148;\ \frac{148}{100} = 1,48\right)$.

2. БУКВЫ ВМЕСТО ЧИСЕЛ

Пусть радиомастерская имеет длину 10 *м* и ширину 5 *м*. Тогда ее площадь будет равна 50 *кв. м* = 50 *м*^{2}. Для нахождения размера площади мы умножили длину на ширину. Взяв для сокращения записи только начальные буквы соответствующих слов, получим

$$п = д \cdot ш. \qquad (1\text{-}1)$$

Мы получили ф о р м у л у для вычисления площади, т. е. совокупность величин, выраженных буквами и соединенных посредством математических знаков, показывающих, какие над данными величинами надо произвести действия, чтобы определить площадь любого прямоугольника.

В математике принято пользоваться для изображения формул буквами латинского алфавита (см. стр. 210). Заменив в нашей формуле (1-1) русские буквы латинскими, например русское $п$ — латинским S, русское $д$ — латинским a, русское $ш$ — латинским b, ту же формулу мы можем написать в виде $S = a \times b$. Знак умножения в формулах с буквами для упрощения записи обычно опускается, так что окончательно получим:

$$S = ab. \qquad (1\text{-}2)$$

Числа, которые предполагаются известными, заданными для вычисления, принято обозначать начальными буквами латинского алфавита (a, b, c), а числа неизвестные, которые необходимо вычислить, — «искомые» — обозначаются его последними буквами (x, y, z). Таким образом, формулу (1-2), содержащую неизвестную величину — площадь S, можно изобразить и как $x = ab$.

В одной и той же формуле разные буквы обозначают различные числовые величины, но одна и та же величина в одной и той же формуле обозначается обязательно одной и той же буквой. При сложении эти одинаковые буквы можно сосчитать и этим упростить формулу, например $a + b + b = a + 2b$. Выражение $2b$ означает удвоенное значение b; если $b = 4$, то $2b = 2 \cdot 4 = 8$.

3. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ДЕЙСТВИЯ С БУКВЕННЫМИ ВЫРАЖЕНИЯМИ

Четыре главных действия, которые можно производить с буквами, следующие:

сложение: $a + b$ (слагаемое + слагаемое = сумма);

вычитание: $a - b$ (уменьшаемое — вычитаемое = разность);

умножение: $a \cdot b$ (сомножитель · сомножитель = произведение);

деление: $a : b$ $\left(\frac{\text{делимое}}{\text{делитель}} = \text{частное}\right)$.

Дробь — это то же деление, только представленное как $\frac{a}{b}$

$$\left(\frac{\text{числитель}}{\text{знаменатель}} = \text{частное или дробь}\right).$$

При сложении или умножении порядок слагаемых или сомножителей не играет роли; при вычитании же и при делении порядок величин должен быть строго соблюдаем.

Сложение дробей. Если знаменатели обеих дробей одинаковы, то складывают только их числители, а знаменатель оставляют прежний $\left(\frac{a}{b} + \frac{c}{b} = \frac{a + c}{b}\right)$. Если же знаменатели у слагаемых различны, то дроби надо сначала привести к общему знаменателю, для чего числитель и знаменатель каждой дроби нужно умножить на знаменатель другой дроби $\left(\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d}{b \cdot d} + \frac{c \cdot b}{d \cdot b} = \frac{a \cdot d + c \cdot b}{b \cdot d}\right)$.

Вычитание дробей. При вычитании знаменатель у дробей тоже должен быть одинаковым. Тогда от числителя первой дроби (уменьшаемого) отнимают числитель второй дроби (вычитаемого) и оставляют прежний знаменатель $\left(\frac{a}{b} - \frac{c}{b} = \frac{a - c}{b}\right)$. Если дроби имеют разные знаменатели, то, как и при сложении, нужно сначала привести их к общему знаменателю $\left(\frac{a}{b} - \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d}{b \cdot d} - \frac{\cdot}{d \cdot b} = \frac{a \cdot d - c \cdot b}{b \cdot d}\right)$.

Умножение дробей. При умножении дробей числитель умножается на числитель, а знаменатель на знаменатель $\left(\frac{a}{b}\cdot\frac{c}{d}=\frac{a\cdot c}{b\cdot d}\right)$. При умножении целого числа на дробь или наоборот надо числитель дроби умножить на это число и поставить прежний знаменатель дроби $\left(a\cdot\frac{b}{c}=\frac{a\cdot b}{c}\right)$.

Деление дробей. Разделить дробь на дробь — это то же, что помножить первую дробь на дробь, обратную второй, т. е. на дробь, в которой числитель и знаменатель поменялись местами

$$\left(\frac{a}{b}:\frac{c}{d}=\frac{a}{b}\cdot\frac{d}{c}=\frac{a\cdot d}{b\cdot c}=\frac{ad}{bc}\right).$$

Обратной величиной называется результат деления единицы на данную величину. Так, например, 5 и $\frac{1}{5}$, 2 и 0,5 и вообще a и $\frac{1}{a}$ — взаимно обратные величины.

Выражение вида $\frac{1}{\frac{a}{b}}$ (единица, деленная на дробь) означает дробь, обратную той, которая стоит под 1, т. е. в данном случае $\frac{b}{a}$. Например, формула для определения общей емкости двух последовательно соединенных конденсаторов имеет вид

$$\frac{1}{C_{общ}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2},$$

или

$$C_{общ}=\frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}}=\frac{1}{\frac{C_2+C_1}{C_1C_2}}=\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}.$$

Сокращение дробей. В целях упрощения выкладок в дробях, содержащих одинаковые сомножители и в числителе и в знаменателе, производится сокращение. Например, $\frac{a\cdot b\cdot c}{a\cdot d}=\frac{bc}{d}$; $\frac{b\cdot c}{a\,(b\cdot c)}=\frac{1}{a}$. Но нельзя сокращать $\frac{a+b}{a}$, что отнюдь не равно b.

4. СТЕПЕНИ И КОРНИ

Степень. Когда числю умножают само на себя несколько раз, то пишут, например, не $a\cdot a$, а a^2 и говорят: «a во второй степени» или «a в квадрате». Здесь a — основание; число сверху справа у основания — показатель степени, определяющий, сколько раз основание должно быть помножено само на себя, а все вместе, как и результат выполнения действия, — степень. Таким образом, a^3 (a в кубе) $=a\cdot a\cdot a$, а a^4 (a в четвертой степени) $=a\cdot a\cdot a\cdot a$.

В технике большие приближенные числа, оканчивающиеся нулями, обычно записываются в виде произведения числа, составленного из значащих цифр данного числа, на соответствующую степень основания 10. Например, емкость 30 000 *пф* пишут в виде $3\cdot 10^4$ *пф*, так как $3\cdot 10^4=3\cdot 10\cdot 10\cdot 10\cdot 10=30\,000$. Как видно, показатель степени в этом случае равен числу нулей.

Степень может иметь и отрицательный показатель. При степенях с отрицательными показателями общее число нулей перед единицей тоже совпадает с показателем, но в это число нулей входит и нуль впереди запятой: 10^{-3} (читается „10 в степени минус три") $=\frac{1}{10^3}=0{,}001$; $10^{-4}=\frac{1}{10^4}=0{,}0001$ и т. д. Когда пишут: „индуктивность равна $3\cdot 10^{-6}$ *гн*", это значит $3\cdot 0{,}000001=0{,}000003$ *гн*.

Любое число в нулевой степени (с показателем 0) всегда равно единице ($3^0=1$; $a^0=1$).

При возведении в степень отрицательной величины действуют общие правила, но в результате ставят знак минус, если показатель степени представлял нечетное число. Четные степени независимо от знака у основания всегда положительны. Например, $(-5)^2=(-5)\cdot(-5)=25$, а $(-5)^3=(-5)\cdot(-5)\times(-5)=25\cdot(-5)=-125$.

Действия со степенями. Складывать и вычитать невычисленные степени можно только при условии, что они имеют одинаковые основания и показатели ($a^2+2a^2=3a^2$).

Чтобы перемножить степени с одинаковым основанием, достаточно сложить их показатели ($a^2\cdot a^3=a^{2+3}=a^5$).

Чтобы разделить одну степень на другую при одинаковых основаниях, достаточно вычесть показатель делителя из показателя делимого $\left(\frac{a^6}{a^3}=a^{6-3}=a^3\right)$.

При умножении и делении степеней нужно принимать во внимание знаки показателей ($a^3\cdot a^{-2}=a^{3+(-2)}=a^1=a$).

Корни. Действие, обратное возведению в степень, т. е. отыскание основания по известным значениям степени и показателя, называется извлечением корня. Действие извлечения корня обозначается знаком радикала $\sqrt{\ }$ (произносится „корень из . . . ."). Число, из которого извлекается корень (степень), ставится под знаком радикала и называется подкоренным. Показатель ста-

вится над знаком радикала и называется **показателем корня**. Извлечь корень третьей степени из a ($\sqrt[3]{a}$) значит найти число, которое будет трижды умножено на само себя, даст подкоренное число. Например, $\sqrt[3]{8}=2$, потому что $8=2\cdot 2\cdot 2=2^3$.

Корень второй степени пишется обычно без показателя корня ($\sqrt{a}$, $\sqrt{5}$).

Как на пример применения действия извлечения корня можно указать на нахождение среднего геометрического двух чисел. Из пропорции $\frac{a}{x}=\frac{x}{b}$ следует, что $x^2=ab$, откуда $x=\sqrt{a\cdot b}$.

Если под корнем стоит не одно только число, а целое выражение (подкоренное выражение), включающее в себя сложение или вычитание, то сначала надо вычислить это выражение, а затем извлекать корень уже из результата вычисления. Но если под корнем стоит произведение или дробь, то можно извлечь корни из отдельных членов подкоренного выражения и затем произвести умножение или деление их. Например, $\sqrt{a\cdot b}=\sqrt{a}\cdot\sqrt{b}$; $\sqrt{\frac{a}{b}}=\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}}$. Отметим, что $\sqrt[3]{a^3}=a$, $\sqrt{a^2b^2}=ab$ и вообще $\sqrt[n]{a^n}=a$, но $\sqrt{a^2+b^2}$ отнюдь не равняется $a+b$.

Из отрицательной величины извлекается корень только нечетной степени, причем ответ получается тоже отрицательным ($\sqrt[3]{-8}=-2$; $\sqrt[3]{-a^6}=-a^2$). Корень четной степени из отрицательного числа не может быть выражен действительным числом. При решении технических задач пользуются математическими таблицами, содержащими вычисленные значения корней (см. стр. 210).

5. УРАВНЕНИЯ

Два алгебраических выражения, соединенные между собой знаком равенства, образуют уравнение, если оба эти выражения имеют одинаковую численную величину при определенных числовых значениях входящих в них букв. Составление уравнения имеет целью определить одну или несколько неизвестных величин по ряду заданных. Ниже излагаются правила обращения с уравнениями, содержащими только одно неизвестное.

Чтобы определить из уравнения неизвестную величину x, надо так преобразовать это уравнение, чтобы x находилось в левой части уравнения; все остальные члены уравнения переносятся в правую часть уравнения. Этот перенос членов уравнения из одной части его в другую производится по следующим упрощенным правилам.

1. Перестановка обеих частей уравнения (одной на место другой) ничего не меняет в выкладках (например, $b+c=x-a$ то же, что и $x-a=b+c$).

2. Члены уравнения, связанные знаками сложения и вычитания, переносятся с переменой знака перед ними (например, при $x-a=b+c$ получаем $x=b+c+a$).

3. Члены уравнения, связанные знаками умножения и деления, переносятся так, что числители в одной части становятся знаменателями в другой, а знаменатели в одной части становятся числителями в другой. Например, при $\frac{x}{a}=a\cdot b\cdot c$ получаем

$$x=a\cdot b\cdot c\cdot a=a^2\cdot b\cdot c.$$

Пример. При $\frac{R_1}{R_2}=\frac{I_2}{I_1}$ определить I_1.

Заданное уравнение является пропорцией, а поэтому можно написать $R_1\cdot I_1=R_2\cdot I_2$ (произведения крайних и средних членов равны). Перенеся R_1 в правую часть уравнения в качестве знаменателя, получим:

$$I_1=\frac{R_2\cdot I_2}{R_1}.$$

Если уравнение содержит степени или корни, то сначала освобождаются от них, а затем полученное выражение преобразуют по указанным правилам.

Например, формула для определения длины волны имеет вид $\lambda=1{,}88\sqrt{L\cdot C}$, где λ—длина волны, *м*; L — индуктивность, *мкгн*; C — емкость колебательного контура, *пф*.

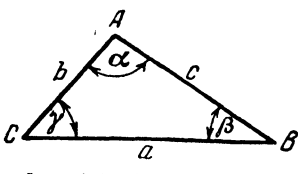
Нам же требуется по известным длине волны λ и индуктивности L определить емкость C. Так как неизвестное C содержится под знаком радикала, то нужно вначале освободиться от корня. Для этого возведем обе части равенства в квадрат (при этом равенство не нарушится): $\lambda^2=1{,}88^2\,L\cdot C$. Меняя затем левую и правую части местами и перенося известные члены ($1{,}88^2L$) вправо, получаем:

$$C=\frac{\lambda^2}{1{,}88^2L}=\frac{\lambda^2}{3{,}55L}.$$

Если уравнение содержит взятые в скобки члены, то каждое выражение, заключенное в скобки, надо рассматривать как один член. Таким же членом является числитель или знаменатель дроби, если он представлен суммой или разностью.

6. НАЧАЛА ГЕОМЕТРИИ И ТРИГОНОМЕТРИИ

Треугольники. Треугольник представляет фигуру, образующуюся в результате соединения прямыми линиями трех не лежащих на одной прямой точек A, B и C (фиг. 1-1). Противолежащие точкам стороны обозначаются соответствующими малыми буквами: a, b, c. Углы между сторонами обозначаются соответствующими малыми буквами греческого алфавита: α, β, γ. Основным свойством любого треугольника является то, что сумма его углов равняется 180°, т. е.

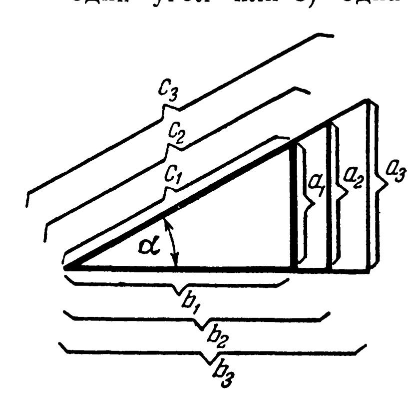


Фиг. 1-1. Остроугольный треугольник.

$$\alpha + \beta + \gamma = 180°. \quad (1\text{-}3)$$

Углы в треугольнике могут быть: один прямой (= 90°) и два острых (< 90°), один тупой (> 90°) и два острых или все три угла острые.

Треугольник можно построить, если заданы: или 1) размеры трех сторон, или 2) две стороны и один угол или 3) одна сторона



Фиг. 1-2. Подобные треугольники.

и два угла. По известным трем углам можно построить множество подобных, но не равных треугольников (фиг. 1-2). У подобных треугольников отношения соответствующих сторон равны, т. е.

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{c_1}{c_2}. \quad (1\text{-}4)$$

Прямоугольный треугольник. Треугольник, у которого один из углов прямой (90°), называется прямоугольным треугольником (фиг. 1-3). Для построения прямоугольного треугольника достаточно знать только две величины, так как третья — прямой угол — всегда известна.

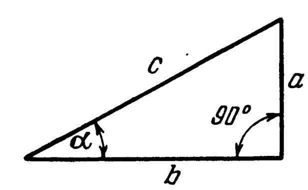
В прямоугольном треугольнике стороны a и b, образующие прямой угол, называются катетами, а сторона c, противоположная прямому углу, — гипотенузой. Катеты и гипотенуза связаны между собой соотношением

$$c^2 = a^2 + b^2,$$

или

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (1\text{-}5)$$

Соотношение (1-5) часто используется в электротехнических расчетах. Например, полное сопротивление Z электрической цепи, состоящей из емкостного или индуктивного сопротивления X и включенного последовательно с ним активного сопротивления R, равно не арифметической, а геометрической их сумме, т. е. $Z = \sqrt{X^2 + R^2}$.



Фиг. 1-3. Прямоугольный треугольник.

Пример. Пусть $X = 800$ *ом* и $R = 600$ *ом*. Тогда $Z = \sqrt{800^2 + 600^2} = 1\,000$ *ом*.

Тригонометрические функции[1]**.** В прямоугольном треугольнике достаточно знать один из острых углов, чтобы определить все три его угла. По трем же углам можно построить бесконечное множество подобных треугольников, стороны которых будут находиться в одинаковых отношениях (фиг. 1-2). Следовательно, в прямоугольном треугольнике один острый угол определяет постоянные соотношения между длинами сторон. Отношение $\frac{a}{c}$ (противолежащего углу α катета к гипотенузе) называется синусом α (сокращенно $\sin\alpha$), а отношение $\frac{b}{c}$ (прилежащего углу α катета к гипотенузе)—косинусом α ($\cos\alpha$), т. е.

$$\sin\alpha = \frac{a}{c}; \quad (1\text{-}6)$$

$$\cos\alpha = \frac{b}{c}. \quad (1\text{-}7)$$

Отношения катетов друг к другу называются тангенсом или котангенсом угла α:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a}{b}; \quad (1\text{-}8)$$

$$\operatorname{ctg}\alpha = \frac{b}{a}. \quad (1\text{-}9)$$

[1] Функцией называется переменная величина, изменяющаяся в зависимости от изменений другой величины (аргумента).

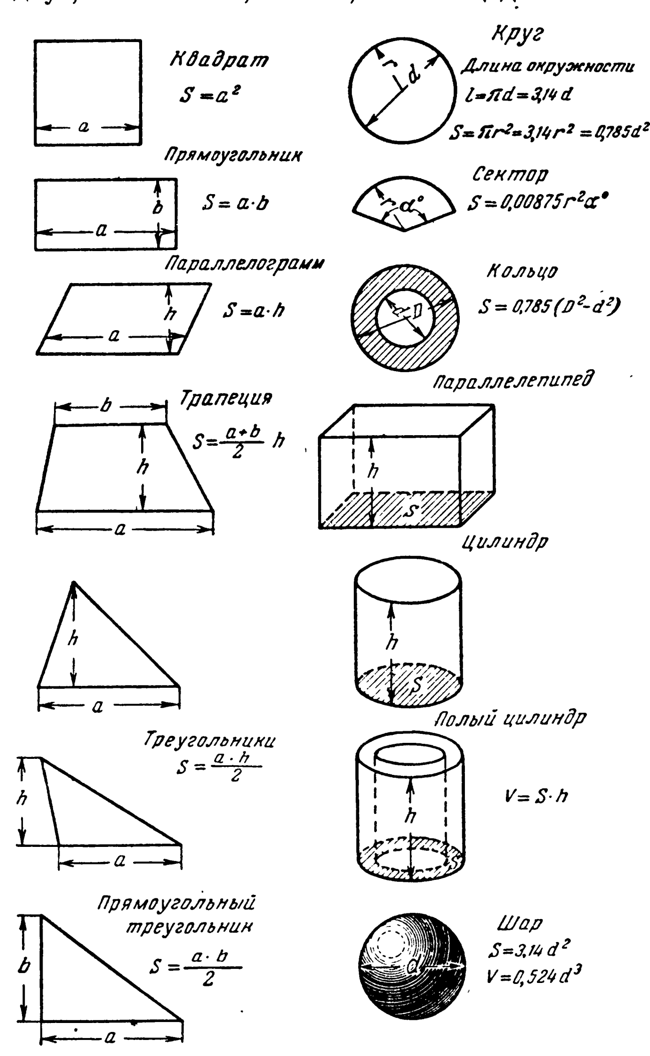
Значение функций $\sin a$, $\cos a$, $\operatorname{tg} \alpha$ и $\operatorname{ctg} \alpha$ для различных значений угла α даны в таблице (см. стр. 211).

Тригонометрические функции играют большую роль в электротехнических расчетах. Если, например, к цепи с индуктивным или емкостным сопротивлением приложить напряжение U и в ней пройдет ток I, то поглощаемая в этой цепи мощность $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$.

Пример. Пусть $U = 100$ *в*, $I = 0{,}1$ *а* и $\varphi = 53°$. По таблице (стр. 211) находим, что $\cos 53° = 0{,}6$. Тогда $P = 100 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}6 = 6$ *вт*.

7. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ, ОБЪЕМОВ И ВЕСОВ

Формулы для определения площадей и объемов основных фигур приведены на фиг. 1-4. Здесь S — площадь, V — объем, r — радиус, h — высота, $\pi \approx 3{,}14$. Площади многоугольных неправильных фигур вычисляются подразделением таких фигур на треугольники и затем сложением площадей этих составляющих треугольников. При вычислении объема прямого конуса или пирамиды площадь основания умножается на $1/3$ высоты.



Фиг. 1-4. Площади и объемы основных геометрических фигур и тел.

Чаще всего объем тела необходимо знать для определения его веса при калькуляции стоимости изделия или по чисто конструктивным соображениям. Для определения веса тела нужно его объем, выраженный в кубических сантиметрах (*см*³), умножить на удельный вес материала тела, т. е. на вес в граммах одного кубического сантиметра материала; тогда вес тела будет выражен в граммах (*г*). При больших размерах тела следует объем выражать в кубических дециметрах (*дм*³); тогда вес тела будет выражен в килограммах (*кг*). Удельные веса некоторых материалов приведены в табл. 1-1.

Таблица 1-1

Удельный вес некоторых материалов

Материал	Удельный вес, *г/см*³	Материал	Удельный вес, *г/см*³
Алюминий	2,7	Стекло	2,6
Латунь	8,5	Текстолит	1,4
Медь	8,9	Фарфор	2,4
Олово	7,3	Цинк	7,1
Свинец	11,4	Эбонит	1,5
Сталь	7,9	Электрокартон	2

Пример. На пустотелый фарфоровый каркас с внешним диаметром $D_к = 80$ *мм*, внутренним диаметром $d_к = 70$ *мм* и высотой $h = 100$ *мм* намотана катушка из $w = 10$ витков медного провода диаметром $d_п = 2$ *мм*. Определить вес всей катушки.

Определяем сначала вес фарфорового каркаса. Площадь основания его $S = 0{,}785\ (D_к^2 - d_к^2) = 0{,}785\,(8^2 - 7^2) \approx 11{,}8$ *см*². Объем $V = S \cdot h = 11{,}8 \times 10 = 118$ *см*³. Удельный вес фарфора составляет 2,4. Следовательно, вес фарфорового каркаса равен $118 \cdot 2{,}4 = 283$ *г*.

Для определения веса провода нужно знать его объем и удельный вес его материала. Площадь поперечного сечения провода $s = 0{,}785\ d_п^2 = 0{,}785 \cdot 2^2 = 3{,}14$ *мм*² $= 0{,}0314$ *см*², средний диаметр каждого витка $d_c = D_к + d_п = 80 + 2 = 82$ *мм* $= 8{,}2$ *см*, длина витка $l_в = \pi \cdot d_c = 3{,}14 \cdot 8{,}2 = 25{,}75$ *см* и длина всего провода $l_п = l_в \cdot w = 25{,}75 \cdot 10 = 257{,}5$ *см*. Следовательно, объем провода $V = s \cdot l = 0{,}0314 \cdot 257{,}5 = 8{,}08$ *см*³. Так как удельный вес материала провода (меди) равен 8,9, то вес провода будет равен $8{,}08 \cdot 8{,}9 \approx 72$ *г*.

Полный вес катушки (каркаса и провода), таким образом, равен $283 + 72 = 355$ *г*.

8. ТАБЛИЦЫ

Математические таблицы. Две математические таблицы помещены в конце книги (на стр. 210—211). Они позволяют по двухзнач-

ной заданной величине определить искомое с точностью до третьего знака. Подобная точность удовлетворяет большинству технических расчетов радиомастера. Если заданная величина содержит больше двух значащих цифр, то ее следует предварительно округлить с точностью до второго знака.

Таблица (на стр. 210) служит для определения обратной величины, квадратных и кубических степеней и квадратных корней заданного числа. Значения заданного числа помещены в порядке его увеличения от 1,0 до 10,0 в первом (левом) столбце таблицы, обозначенном буквой *n*.

Обратная величина $\left(\frac{1}{n}\right)$ дана во втором столбце таблицы, в одной строчке со значением заданного числа.

Пример. Определить обратную величину числа 18. Для этого отыскиваем в первом столбце число, выраженное теми же значащими цифрами (т. е. 1,8), и в той же строчке во втором столбце читаем обратную его величину 0,556. Поскольку было задано число с иным расположением запятой (18,0), на основании правила: *на сколько знаков перемещена запятая в заданном числе, на столько же знаков, но в обратную сторону, перемещается запятая в обратной величине этого числа* — в обратной величине переносим запятую на один знак левее и получаем 0,0556 — обратную величину числа 18.

Применением той же таблицы обратных величин можно упростить перевод обыкновенных дробей в десятичные и деление целых чисел. Для этого описанным выше способом находят величину, обратную знаменателю дроби (или делителю), и умножают ее на числитель дроби (на делимое).

Примеры. 1. Перевести дробь $\frac{2}{17}$ в десятичную. Находим обратную величину числа 17, равную 0,0588, и, умножая ее на число 2, получаем $0,0588 \cdot 2 = 0,1176 \approx 0,118$.

2. Разделить число 25 на 7,6.

Обратную величину числа 7,6, равную 0,132, умножаем на 25 и получаем $0,132 \cdot 25 = 3,3$.

3. Освободить формулу $U = \frac{U_m}{1,41}$ от знаменателя.

По таблице обратных чисел находим, что $\frac{1}{1,4} = 0,71$. Следовательно, $U = 0,71 U_m$.

Квадрат заданного числа (n^2) дан в третьем столбце таблицы. Для определения квадратов чисел с иным расположением запятой, чем у чисел первого столбца таблицы, пользуются правилом: *перемещение запятой в заданном числе на один знак вызывает перемещение запятой в значении квадрата его на два знака (в ту же сторону).*

Пример. Найти $0,062^2$.

В первом столбце (n) находим число 6,2 (выраженное теми же значащими цифрами), а в третьем столбце (n^2) — его квадрат 38,4. В заданном числе 0,062 запятая стоит на два знака левее, чем в числе 6,2. Поэтому в значении квадрата запятую надо перенести на четыре знака влево. Следовательно, $0,062^2 = 0,00384$.

Квадратный корень из заданного числа определяется по четвертому ($\sqrt{n}$) или пятому ($\sqrt{10n}$) столбцам таблицы. Если заданное число имеется в первом столбце (n), то значение квадратного корня берут из столбца $\sqrt{n}$. Если же заданное число в 10 раз больше числа первого столбца, то значение квадратного корня берут из столбца $\sqrt{10n}$.

Примеры. $\sqrt{3,5} = 1,87$; $\sqrt{35} = 5,92$.

В тех случаях, когда заданное число больше 100, пользуются правилом: *перемещение запятой в заданном числе на два знака вызывает перемещение запятой в значении квадратного корня его на один знак (в ту же сторону).*

Аналогичным же образом находят значения квадратных корней из чисел, меньших единицы.

Примеры. Найти $\sqrt{350}$, $\sqrt{350\,000}$ и $\sqrt{0,93}$.

Отделяем в заданном числе два последние знака запятой (3,50) и находим $\sqrt{3,5} = 1,87$. Так как в заданном числе (350,0) запятая находится на два знака правее, чем в числе 3,5, то в найденном результате (1,87) переносим запятую на один знак вправо и получаем $\sqrt{350} = 18,7$.

Тем же способом находим и $\sqrt{350\,000}$. Отделяем в этом числе два последних знака (3 500,00). Так как полученное число опять оказывается больше 100, то отделяем запятой еще два знака (35,0000) и находим $\sqrt{35} = 5,92$. Так как в заданном числе 350 000 запятая находится на четыре знака правее, чем в числе 35, то в найденном результате переносим запятую на два знака вправо и получаем $\sqrt{350\,000} = 592$.

Для определения $\sqrt{0,93}$ переносим запятую на два знака вправо и получив число 93, находим $\sqrt{93} = 9,64$. Так как в заданном числе (0,93) запятая стоит на два знака левее, чем в числе 93, то в полученном результате переносим запятую на один знак влево и получаем $\sqrt{0,93} = 0,964$.

Кубы заданных чисел помещены в столбце n^3. При определении кубов надо руководствоваться правилом: *перемещение запятой в заданном числе на один знак вызывает перемещение запятой в значении куба его на три знака (в ту же сторону).*

Примеры. $5,2^3 = 141$; $52^3 = 141\,000$; $2,6^3 = 17,6$; $0,26^3 = 0,0176$.

Другая таблица (на стр. 211) служит для определения тригонометрических функций

($\sin\alpha$, $\cos\alpha$, $\mathrm{tg}\,\alpha$, $\mathrm{ctg}\,\alpha$) заданного угла. Значения заданного угла в пределах от 0 до 45° помещены в первом столбце таблицы, обозначенном сверху буквой α, а значения от 45 до 90° — в последнем столбце, обозначенном снизу буквой α. Внутренние четыре столбца чисел, содержащие значения неизвестной величины, обозначены сверху знаками $\sin\alpha$, $\cos\alpha$, $\mathrm{tg}\,\alpha$, $\mathrm{ctg}\,\alpha$, а снизу — соответственно $\cos\alpha$, $\sin\alpha$, $\mathrm{ctg}\,\alpha$, $\mathrm{tg}\,\alpha$. Если заданный угол меньше 45° (в левом столбце), то для определения неизвестной функции пользуются столбцом, вверху которого поставлено обозначение этой функции. Если же заданный угол больше 45°, то для определения неизвестной функции пользуются столбцом, внизу которого поставлено обозначение этой функции.

Примеры. Найти $\mathrm{tg}\,35°$ и $\mathrm{ctg}\,55°$.

Для $\mathrm{tg}\,35°$ отыскиваем в левом столбце величину 35° и на этой же строке в столбце, вверху которого стоит знак $\mathrm{tg}\,\alpha$, читаем 0,700. Значит, $\mathrm{tg}\,35° = 0{,}700$.

Для $\mathrm{ctg}\,55°$ отыскиваем в последнем столбце величину 55° и на этой же строке в столбце, внизу которого стоит знак $\mathrm{ctg}\,\alpha$, читаем 0,700. Значит, $\mathrm{ctg}\,55° = 0{,}700$.

Если по известному значению тригонометрической функции требуется определить угол, то заданное число отыскивают внутри таблицы в отведенном для данной функции столбце, а значение искомой величины читают на той же строке в столбце заданной величины.

Пример. Дано $\mathrm{tg}\,\alpha = 0{,}57$. Требуется определить угол α.

Среди значений тангенса нет числа 0,57. Тогда находим помещенные в таблице ближайшие числа 0,554 и 0,577 и останавливаемся на числе 0,577, как наиболее близком к заданному. Так как это число помещено в столбце, обозначенном символом $\mathrm{tg}\,\alpha$ сверху, то величину соответствующего угла читаем в левом столбце и получаем $\alpha = 30°$.

Интерполяция. Встречающиеся на практике таблицы не всегда содержат достаточное количество различных значений заданных величин. Например, в табл. 1-2 режимов лампы 6П6С указаны только три значения напряжения на аноде (315, 250 и 180 *в*), в соответствии с которыми только и могут быть выбраны прочие величины. А каковы будут эти величины при напряжении, скажем, 220 *в*? Это можно определить методом интерполяции.

Наиболее простой и удовлетворяющей требованиям практической точности является линейная интерполяция. При этом прежде всего определяют, между какими двумя помещенными в таблице значениями находится значение заданной величины.

Таблица 1-2

Режимы лучевого тетрода 6П6С

Величины	Режимы		
Напряжение на аноде, *в*	315	250	180
Напряжение на экранной сетке, *в*	225	250	180
Напряжение на управляющей сетке, *в*	—13	—12,5	—8,5
Сопротивление нагрузки, *ком*	8,5	5	5,5
Выходная мощность, *ва*	5,5	4,5	2

В нашем случае напряжение на аноде 220 *в* находится между напряжениями 250 и 180 *в*. Поэтому выписываем из табл. 1-2 эти ближайшие два режима и определяем разности между соответствующими им значениями каждой величины:

Величины	Режимы		Разность
Напряжение на аноде, *в*	250	180	70
Напряжение на экранной сетке, *в*	250	180	70
Напряжение на управляющей сетке, *в*	—12,5	—8,5	—4
Сопротивление нагрузки, *ком*	5	5,5	—0,5
Выходная мощность, *ва*	4,5	2	2,5

Полученные разности показывают, насколько увеличивается значение каждой величины при увеличении анодного напряжения от 180 до 250 *в*, т. е. на 70 *в*. У нас же задано анодное напряжение 220 *в*, что больше 180 *в* лишь на 40 *в*, т. е. на $\frac{40}{70} = \frac{4}{7}$ той разности, которую дают ближайшие два табличных значения. Линейная интерполяция предполагает, что все величины в рассматриваемых пределах изменяются равномерно. Следовательно, умножив каждую разность на $\frac{4}{7}$, высчитываем поправку для соответствующих величин:

$70 \cdot \frac{4}{7} = 40$ *в* — поправка для напряжения на экранной сетке;

$-4 \cdot \frac{4}{7} = -2{,}3$ *в* — поправка для напряжения на управляющей сетке;

$-0{,}5 \cdot \frac{4}{7} \approx -0{,}3$ *ком* — поправка для сопротивления анодной нагрузки;

$2{,}5 \cdot \frac{4}{7} \approx 1{,}4$ *ва* — поправка для выходной мощности.

Прибавляя эти поправки к значениям, соответствующим анодному напряжению 180 *в*, получим:

Напряжение на экранной сетке равно 180 + 40 = = 220 *в*;

напряжение на управляющей сетке равно — 8,5 + + (— 2,3) = — 10,8 *в*;

сопротивление анодной нагрузки равно 5,5 + + (— 0,3) = 5,2 *ком*;

выходная мощность равна 2 + 1,4 = 3,4 *ва*.

9. НОМОГРАММЫ

Если в таблицах приводятся отдельные числовые значения зависящих друг от друга величин, то в номограммах они заменяются непрерывными числовыми шкалами, чем облегчается нахождение любых промежуточных значений величин. Точность и быстрота нахождения искомой величины зависят от умения читать данную шкалу. Например, на правой шкале (*f*) номограммы фиг. 1-5 промежуток между штрихами 10 и 20 разделен на две части длинным штрихом. Очевидно, что этот штрих обозначает число 15. Каждая часть 10—15 и 15—20, в свою очередь, разделена на пять частей мелкими штрихами. Отсюда определяем, что цена одного мелкого деления составляет 1, т. е. первый мелкий штрих обозначает число 11, второй 12 и т. д. *мггц*.

Путем практической тренировки глаза надо выработать навык определения промежуточных чисел, для которых на шкале не нанесены штрихи. Если, например, заданная частота равна 3,7 *мггц*, а на шкале имеются штрихи, соответствующие числам 3,5 и 4 *мггц*, то промежуток между этими штрихами мысленно разбивают на пять частей и, откладывая от штриха 3,5 две такие части, находят положение числа 3,7 *мггц*.

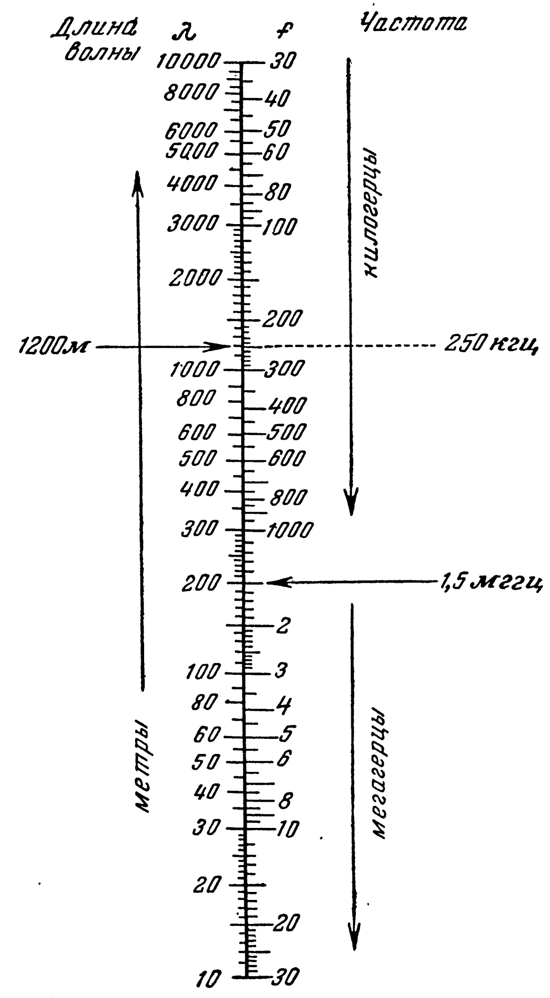
Наиболее просты номограммы, служащие для определения одной неизвестной величины по одной заданной величине. Они представляют две числовые шкалы, нанесенные по обеим сторонам одной линии. Такая номограмма и представлена на фиг. 1-5. Левая шкала выражает значения длины волны λ в *м*, правая — соответствующие значения частоты *f* колебаний.

Пример. Требуется определить частоту, соответствующую длине волны 1 200 *м*.

Находим на левой шкале точку, соответствующую 1 200 *м*. На правой шкале число, соответствующее этой точке, будет 250. Это и есть искомое значение частоты (в *кгц*).

Понятно, что если известна не длина волны, а частота, то с помощью этой же номограммы можно определить длину волны.

Номограммы, связывающие более двух величин, соответственно имеют большее количество шкал, которые вычерчиваются в определенных масштабах и занимают определенное взаимное расположение, например номограмма, изображенная на фиг. 1-6. Для расчетов по таким номограммам надо иметь прямую линейку (желательно прозрачную). На двух шкалах, выражающих значения известных величин, находят точки, обозначающие заданные значения этих величин (например, 20 *в* и 100 *ом* на фиг. 1-6). К найденным точкам прикладывают прямой бортик линейки.

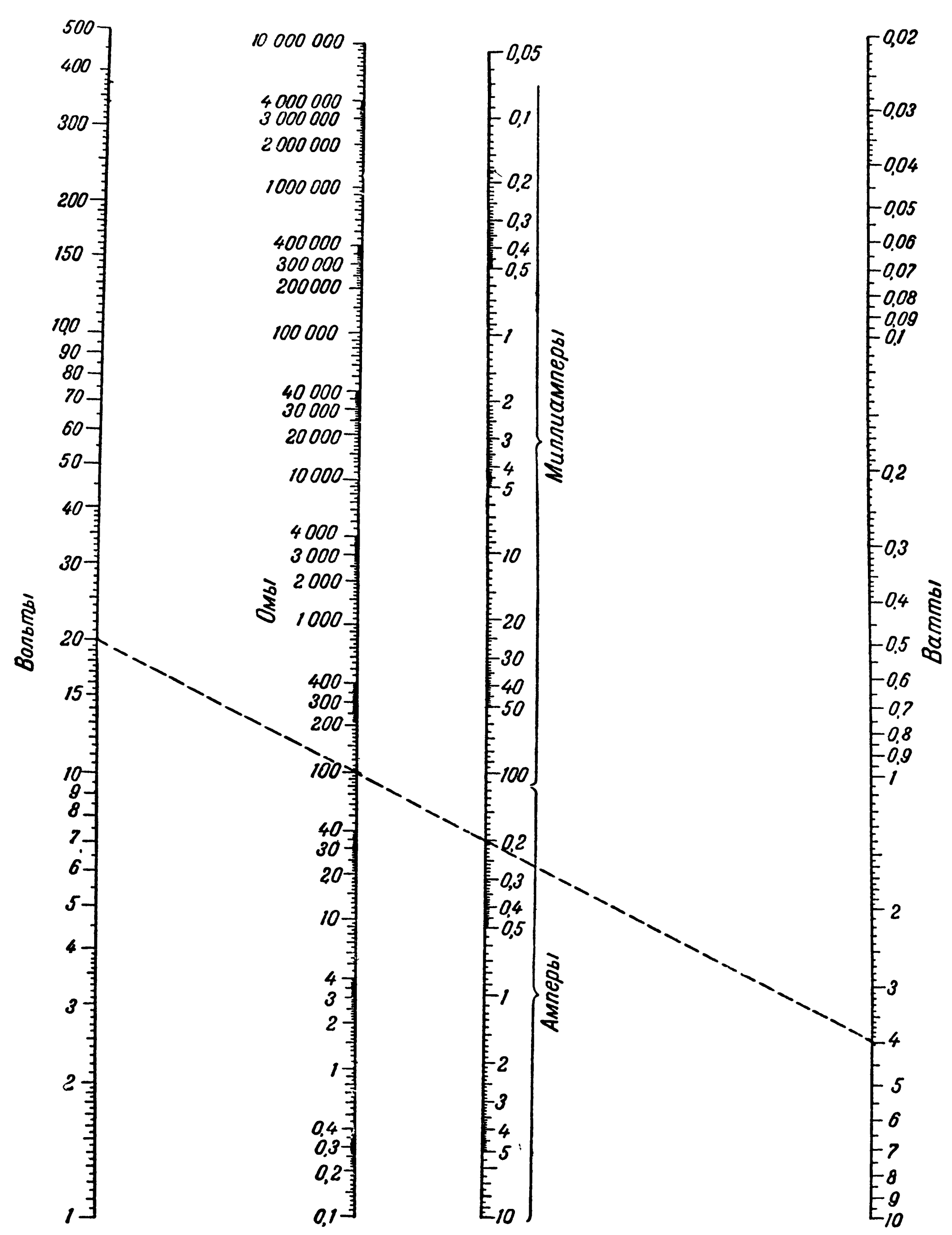


Фиг. 1-5. Номограмма для определения длины волны и частоты.

В точке пересечения линейкой третьей шкалы читают искомое значение величины, выражаемой этой третьей шкалой (0,2 *а*).

Пример. Определить по номограмме фиг. 1-6 необходимую величину сопротивления сеточного смещения, если анодный ток лампы равен 5 *ма*, а напряжение смещения должно быть равно 12,5 *в*.

На шкале *U* (напряжение) находим точку, соответствующую 12,5 *в*, а на шкале *I* (ток) — точку, соответствующую 5 *ма*. Накладывая линейку так, чтобы ее бортик пересекал шкалы *U* и *I* в найденных точках, в точке пересечения линейкой шкалы *R* читаем ответ (2 500 *ом*).



Фиг. 1-6. Номограмма для определения U, R, I и P.

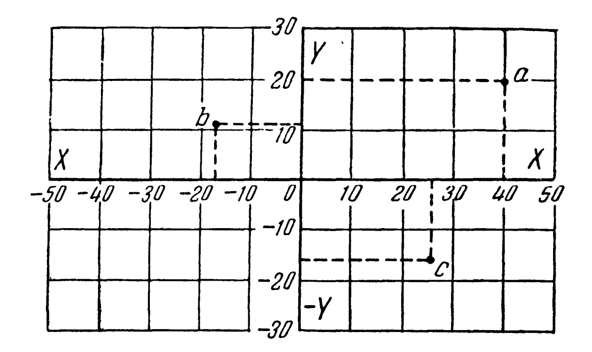
Номограмма на фиг. 1-6 содержит также шкалу мощностей P. Указанным уже способом определяется любая из четырех величин (U, R, I, P) по значениям любых других двух величин.

10. ГРАФИКИ

Графики, как и таблицы и номограммы, служат для непосредственного определения значения неизвестной величины по заданному значению другой, известной, величины. Кроме того, графики дают наглядное представление о характере и смысле зависимости между связанными величинами.

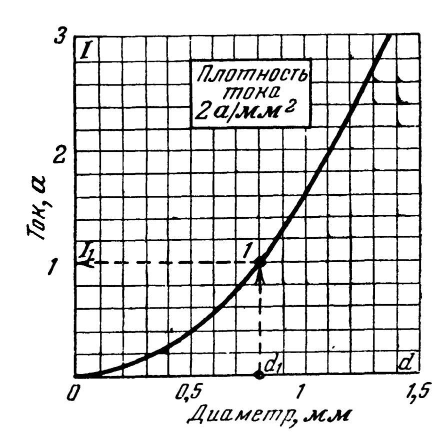
Построение графика. Основой всякого графика являются координатные оси, которые обычно представляют две пересекающиеся под прямым углом, т. е. взаимно перпендикулярные, шкалы чисел: горизонтальную (ось X) и вертикальную (ось Y); на осях строится координатная сетка (фиг. 1-7). Любая точка

в пределах координатной сетки может быть обозначена определенным и притом только одним сочетанием числа, взятого на оси X, с числом, взятым на оси Y; например, точка a на фиг. 1-7 определяется числами $x = 40$ и $y = 20$, точка b — числами $x = -17$ и $y = 11$, точка c — числами $x = 26$, $y = -16$.



Фиг. 1-7. Координатные оси и координатная сетка.

Если по оси X откладывать значения одной, известной, величины, а по оси Y — соответствующие им значения, другой, неизвестной величины, то нанесенные в результате этого в пределах координатной сетки точки могут быть соединены между собой отрезками прямой или плавной кривой линией. Тем самым



Фиг. 1-8. График допустимой нагрузки провода током.

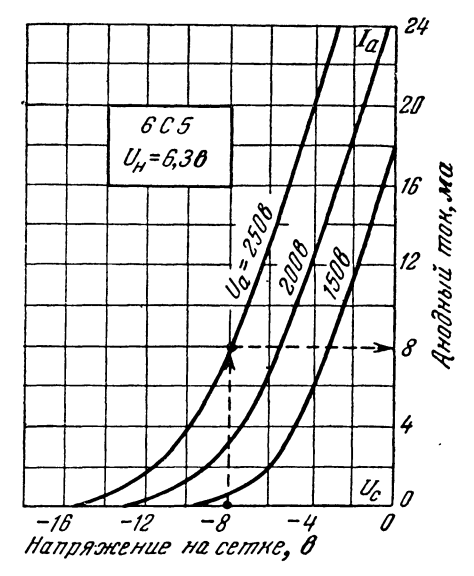
мы получаем график — наглядное изображение зависимости между этими двумя величинами.

Чтение графика. Рассмотрим график допустимой нагрузки током медного провода (фиг. 1-8). Этот график служит для определения наибольшего допустимого тока в проводе, диаметр которого известен.

Пример. Диаметр провода d равен 0,8 *мм*. Определить наибольший допустимый ток I в нем.

На горизонтальной шкале d находим точку d_1, соответствующую диаметру провода 0,8 *мм*, и сносим вдоль вертикальных линий координатной сетки положение этой точки на линию графика (точка *1*). Затем сносим вдоль горизонтальных линий координатной сетки положение точки *1* с графика на вертикальную шкалу I и получаем на этой шкале точку I_1, которая соответствует току 1 *а*. Это и есть наибольший допустимый ток в проводе диаметром 0,8 *мм*.

Этот же график можно использовать для решения обратной задачи (для нахождения диаметра провода по заданному току).



Фиг. 1-9. График семейства анодно-сеточных характеристик триода.

Иногда при графике указываются и дополнительные условия, без соблюдения которых данный график неверен. Такое дополнительное условие имеет и график фиг. 1-8: он составлен из расчета плотности тока 2 *а* на каждый *мм*² сечения провода. Такая плотность тока допускается для проводов трансформаторных обмоток. В проволочных сопротивлениях, например, допускается бо́льшая плотность тока и для расчета их нужен другой график.

Система графиков. Очень часто приводятся не отдельные графики с различными значениями дополнительного условия, а так называемая система графиков, вычерченных на одной координатной сетке, где каждая линия-график соответствует определенному значению дополнительного условия, которое указывается около нее. Подобную систему графиков представляет, например, семейство анодно-сеточных характеристик трехэлектродной лампы (фиг. 1-9). Данная система графиков изображает зависимость анодного

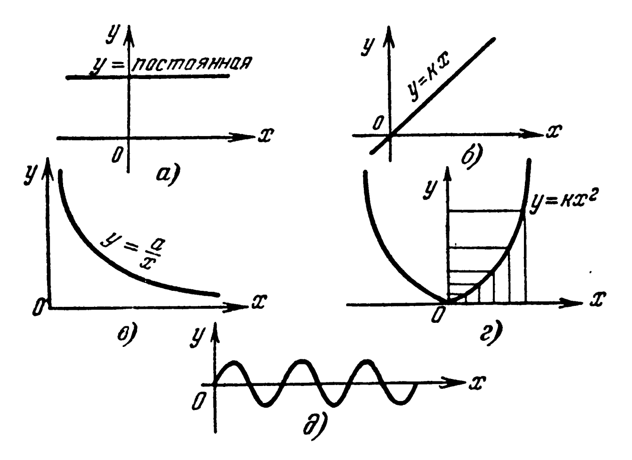
тока (I_a) от напряжения на управляющей сетке (U_c). Дополнительное условие — величина напряжения U_a на аноде — имеет три значения (250, 200 и 150 *в*), каждому из которых соответствует самостоятельная линия-график. Кроме того, неизменным дополнительным условием для всех линий графиков является величина напряжения накала $U_н = 6{,}3$ *в*. Принцип чтения системы графиков поясняют следующий пример.

Пример. По напряжению на аноде $U_a = 250$ *в* и напряжению на управляющей сетке $U_c = -8$ *в* определить анодный I_a.

Используя график, обозначенный $U_a = 250$ *в*, точку — 8 *в* (шкалы U_c) переносим обычным способом на шкалу I_a и находим на ней значение анодного тока 8 *ма*.

Как понять смысл графика. Понять смысл графика значит понять, как изменяется одна величина при изменении другой. Если кривая направляется вверх, то при изменении x значение величины y, выражаемой ею, увеличивается. Чем круче поднимается линия графика, тем быстрее увеличивается эта величина. Если линия графика идет горизонтально, то это означает, что величина y при изменении x не меняется. Если же линия графика опускается, значит величина y при изменении x уменьшается и тем быстрее, чем круче спад.

Графики важнейших функций. 1. *Постоянная величина.* Если некоторая величина, обозначаемая через y, не зависит от другой, переменной, величины x (y — постоянная величина), то график ее выражается прямой линией, параллельной оси X (фиг. 1-10,*а*). Так должна была бы выглядеть, например, идеальная частотная характеристика усилителя



Фиг. 1-10. Графики важнейших функций.

низкой частоты (в пределах полосы усиления), если коэффициент усиления обозначить через y, а частоту — через x. В действительности же некоторое приближение к горизонтальной прямой удается получить лишь для определенного диапазона частот.

2. *Прямая пропорциональность* ($y = kx$). Прямая, наклоненная к осям под некоторым углом и проходящая через начало координат (точку $x = 0$ и $y = 0$), является графиком прямой пропорциональности (фиг. 1-10,*б*). Он показывает, что во сколько раз увеличится или уменьшится величина x, во столько же раз соответственно увеличится или уменьшится зависящая от нее прямо пропорциональная ей величина y. Именно так изображается график зависимости сопротивления провода от его длины (при неизменном материале и сечении его и при постоянной температуре).

3. *Обратная пропорциональность.* Если при увеличении переменной x другая, зависящая от нее величина y уменьшается в то же число раз $\left(y = \frac{a}{x}\right)$, то такую зависимость называют обратной пропорциональностью (фиг. 1-10,*в*). График ее изображается ниспадающей кривой линией. Так выглядит график зависимости тока в цепи от ее сопротивления (при неизменном напряжении): чем больше сопротивление x, тем меньше ток y, и наоборот.

4. *Квадратичная зависимость.* Если величина y изменяется прямо пропорционально квадрату независимой переменной x ($y = kx^2$), то график представляет восходящую кривую линию, причем крутизна подъема ее все время увеличивается, что указывает на увеличение скорости изменения y при увеличении x (фиг. 1-10,*г*). Таков, например, график электрической мощности в неизменном сопротивлении, если за x принять ток или напряжение. Он показывает, что увеличению напряжения или тока при их малых значениях соответствует небольшое приращение мощности, а при повышении напряжения или тока каждое следующее увеличение их на прежнюю величину вызывает все больший и больший прирост мощности.

5. *Периодическая функция.* На фиг. 1-10,*д* приведен график зависимости y от x, при которой значения y повторяются через одинаковые интервалы приращения x. Это очень распространенная в технике зависимость, причем независимой переменной x чаще всего бывает время. Именно так, как это изображено на фиг. 1-10,*д*, выглядит график напряжения в электросети переменного тока, график неза-

тухающих колебаний в цепях генераторов высокой частоты и многие другие. Они указывают на то, что величина, отсчитываемая по вертикальной оси y, изменяется периодически, принимая через определенные одинаковые промежутки времени равные значения. Элементарная часть графика периодической функции, повторяющаяся много раз, показывает характер изменения переменной y в течение одного периода (времени, соответствующего одному полному колебанию). Эти элементарные части в разных случаях могут изображаться различными кривыми, но для данной периодической функции все они одинаковы.

* * *

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Чертежи и схемы — необходимое средство выражения мыслей как в радиотехнике, так и в любой другой технической области. Поэтому радиомастер должен уметь не только читать и применять их, но и правильно выполнять. Соблюдение установленных правил придает чертежам бо́льшую ясность и наглядность, несоблюдение же их делает чертеж непонятным для другого и ведет к ошибкам при выполнении работы. Знание правил геометрического построения бывает необходимо и для правильной и точной разметки при механических работах (в слесарном, столярном деле и т. д.), а также при изготовлении шкал к различной радиоаппаратуре.

Ниже приводятся основные сведения по техническому черчению, полезные для радиомастера.

1. ЧЕРТЕЖНЫЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Чертежные материалы. Б у м а г а выбирается в соответствии с требованиями, предъявляемыми к чертежу. Чертежи в туши выполняются на чертежной ватманской или полуватманской бумаге; чертежи, подлежащие размножению путем светокопии (синьки), выполняются на бумажной или полотняной кальке. Стандартный размер листа чертежной бумаги 1 189 × 841 *мм*; для небольших чертежей используют $^1/_2$, $^1/_4$ и т. д. листа. Нормированные форматы чертежной бумаги (после обрезки) приведены в табл. 2-1.

Карандаш. При черчении употребляются простые карандаши. Твердость их условно обозначается буквами М — мягкий и Т — твердый. Надо иметь, по крайней мере, три карандаша различной твердости: для разметки — твердый (5Т или 4Т), для проведения тонких линий — средней твердости (3Т или 2Т) и для обводки — мягкий (М или ТМ). При чертежной работе карандаш должен быть всегда остро заточен (фиг. 2-1). Заострять графит карандаша удобно сначала на мелкой наждачной бумаге («нулевке»), а после этого — на обычной бумаге.



Фиг. 2-1. Как должен быть очинен карандаш.

Для стирания карандашных линий надо иметь мягкую канцелярскую р е з и н к у.

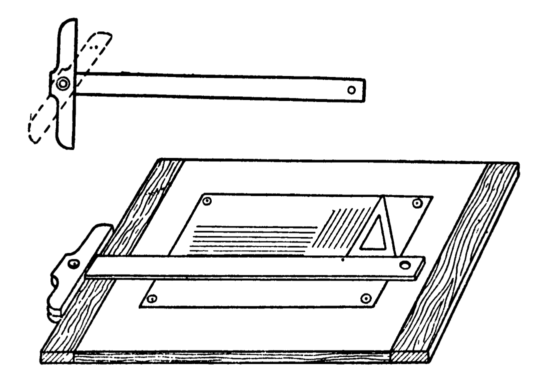
Линейки. При исполнении производственных крупных чертежей важнейшим чертежным инструментом является р е й с ш и н а (фиг. 2-2). Рейсшина позволяет проводить строго параллельные линии. Однако применение ее целесообразно лишь при наличии чертежной доски.

Таблица 2-1

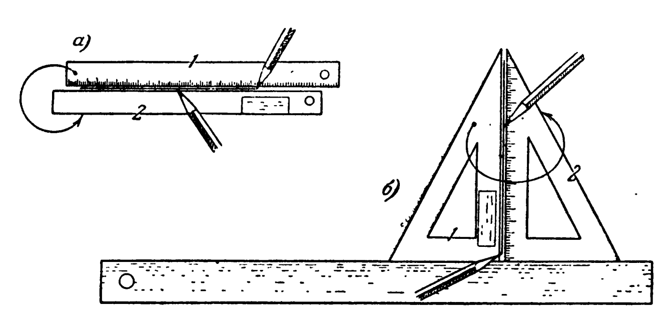
Форматы чертежной бумаги

Обозначение формата	а0	а1	а2	а3	а4	а5	а6
Формат (после обрезки), *мм*	814×1 152	576×814	407×576	288×407	203×288	144×203	101×144
Доля целого листа	1	$^1/_2$	$^1/_4$	$^1/_8$	$^1/_{16}$	$^1/_{32}$	$^1/_{64}$

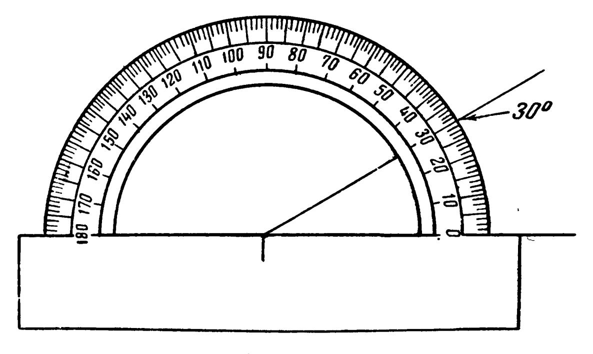
Следует иметь несколько линеек и треугольников различных размеров. Удобны прозрачные и некоробящиеся целлулоидные



Фиг. 2-2. Рейсшина и как ею пользоваться.



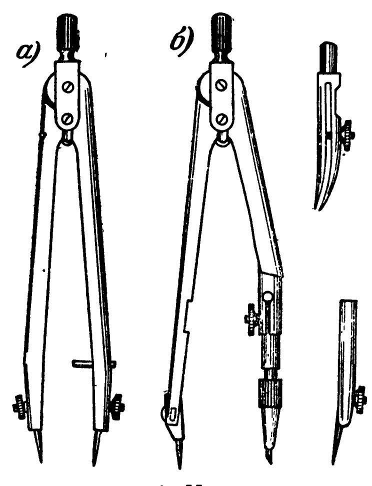
Фиг. 2-3. Проверка линеек (*а*) и треугольников (*б*).



Фиг. 2-4. Транспортир.

линейки и треугольники. Треугольники выпускаются прямоугольные двух типов: с одинаковыми острыми углами (по 45°) и с разными углами (30 и 60°). При черчении встречается надобность и в тех и в других. Линейки должны быть выверены на прямолинейность их ребер. Для этого прочерчивают два раза одну и ту же линию, переворачивая линейку (фиг. 2-3,*а*). Аналогичным образом выверяется прямой угол треугольника (фиг. 2-3,*б*).

Для построения и измерения различных углов служит транспортир (фиг. 2-4). Вершину измеряемого угла совмещают с меткой посередине прямого ребра транспортира так, чтобы одна из сторон угла совпала с этим прямым ребром транспортира, проходящим через деление 0° шкалы. Тогда величину угла определяют по значению деления шкалы, совпадающего с другой стороной угла.



Фиг. 2-5. Циркули.
а — измерительный; *б* — круговой.

При вычерчивании схем большую пользу приносит применение трафарета. Он представляет пластинку из целлулоида (толщиной 0,5—1 *мм*), в которой прорезаны условные обозначения, буквы и т. д.

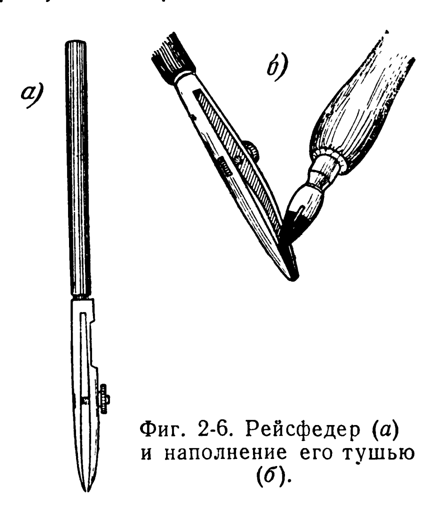
Циркули, рейсфедер. Различают измерительный циркуль (фиг. 2-5,*а*), обе ножки которого оканчиваются иглами, и круговой (фиг. 2-5,*б*), служащий для проведения окружностей. В одну из ножек кругового циркуля может вставляться наконечник с графитом (для черчения карандашом), двухстворчатое стальное перо (для черчения тушью) или игла. В последнем случае круговой циркуль превращается в измерительный.

Двухстворчатое стальное перо в отдельной ручке (фиг. 2-6,*а*) называется рейсфедером. Рейсфедер служит для проведения по линейке прямых линий различной толщины. Толщина линий регулируется гайкой, изменяющей расстояние между створками. Двухстворчатые перья рейсфедера и кругового циркуля наполняются тушью при помощи ручки и обыкновенного чистого пера, которое вводится вместе с тушью в промежуток между створками сверху (фиг. 2-6,*б*).

При черчении тушью неверно начерченное соскабливают острием ножа или срезают

вместе с тонким поверхностным слоем бумаги лезвием бритвы.

Чертежные инструменты требуют аккуратного обращения и хранения в чистоте. Недопустимо использование чертежных циркулей и игл для разметки по металлу, дереву и другим твердым материалам.

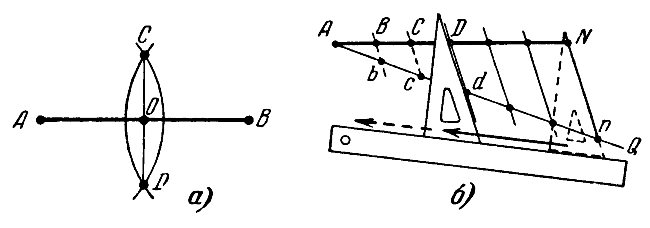


Фиг. 2-6. Рейсфедер (*а*) и наполнение его тушью (*б*).

2. ПРИЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ

В настоящем параграфе приводятся основные правила геометрических построений.

Деление отрезка прямой. *Деление на две равные части.* Из концов отрезка прямой, как из центров, проводят циркулем две дуги одинакового радиуса (фиг. 2-7,*а*). Точки пересечения C и D дуг соединяют прямой линией. Тогда точка O пересечения прямой CD с данным отрезком AB и будет его серединой, т. е. $AO = OB$. Для того чтобы разделить данный отрезок AB на четыре равные части, надо тем же способом разделить каждую его половину. Поступая также и дальше, можно делить отрезок на 8, 16 и т. д. равных частей.

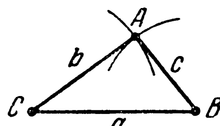


Фиг. 2-7. Деление отрезка прямой.
а — на две равные части; *б* — на любое число равных частей.

Деление отрезка прямой на любое количество равных частей. Под произвольным углом к данному отрезку AN проводят прямую AQ (фиг. 2-7,*б*). От точки A на прямой AQ откладывают измерительным циркулем нужное количество равных частей произвольной длины и получают на ней точки b, c, d и т. д. Последнюю точку n соединяют с концом N данного отрезка и, пользуясь треугольником, передвигаемым вдоль неподвижной линейки, через остальные точки b, c и т. д. проводят прямые линии, параллельные прямой nN: bB, cC, dD и т. д. Полученные на отрезке AN точки B, C, D и др. делят его на нужное число равных частей.

Проведение прямых линий и построение углов. *Параллельные прямые* линии проводятся уже описанным способом с помощью треугольника и линейки (фиг. 2-7,*б* и 2-2).

Перпендикулярные прямые могут быть проведены с помощью линейки и прямоугольного треугольника с выверенным прямым углом (фиг. 2-3,*б*) или с помощью транспортира.



Фиг. 2-8. Построение треугольника по трем сторонам.

Заметим, что способы проведения перпендикулярных прямых являются в то же время способами построения прямых углов, поскольку последние образуются прямыми линиями, пересекающимися под углом 90°. Вообще транспортир пригоден для построения любых углов. Для этого по прямому ребру транспортира, которое проходит через нулевое деление шкалы, проводят одну сторону угла. Другая сторона угла проводится от метки посередине прямого ребра транспортира через деление на шкале, соответствующее значению угла (фиг. 2-4).

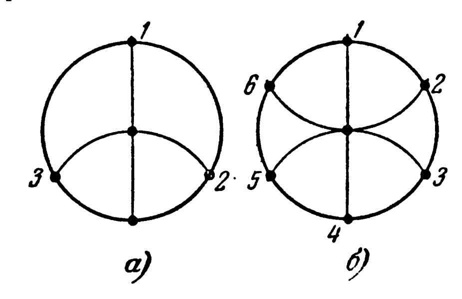
Если требуется построить угол по заданному значению какой-либо тригонометрической функции, то сначала определяют по тригонометрической таблице величину угла в градусах, соответствующую данному значению функции, а затем строят этот угол с помощью транспортира.

Построение фигур. *Треугольник* чаще всего приходится строить по заданным размерам (a, b и c) трех его сторон. Изображают одну сторону (a на фиг. 2-8) и из ее концов, как из центров, проводят две дуги радиусами, равными двум другим сторонам (b и c) треугольника. Точка A пересечения дуг соединяется прямыми с концами стороны a.

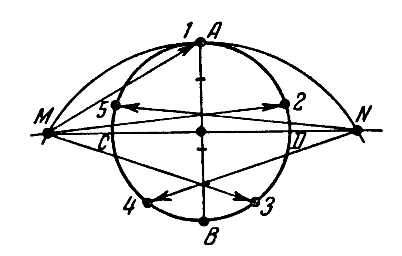
Прямоугольники строятся по описанным выше правилам построения прямых углов.

Правильные треугольники и многоугольники, которые довольно часто составляют детали внешнего оформления аппаратуры, харак-

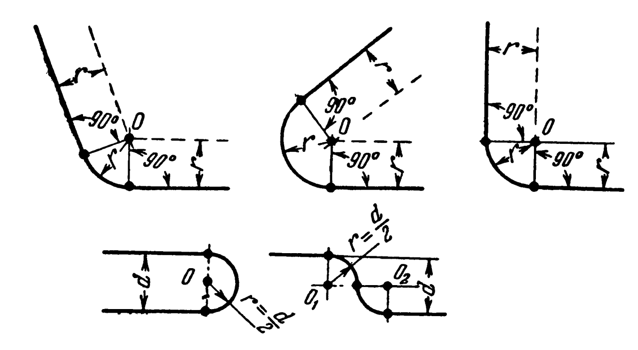
терны тем, что все их вершины лежат на одной окружности, которая делится ими на равные части. Поэтому построение таких фигур сводится к делению окружности на необходимое число равных частей и соединению точек деления прямыми линиями.



Фиг. 2-9. Деление окружности.
а — на три равные части; *б* — на шесть равных частей.



Фиг. 2-10. Деление окружности на любое число равных частей.

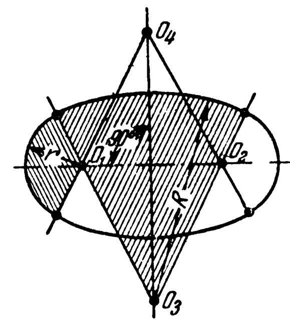


Фиг. 2-11. Примеры сопряжения линий.

Деление окружности на три или на шесть равных частей производится циркулем, если раствор его ножек сделать равным радиусу данной окружности (фиг. 2-9).

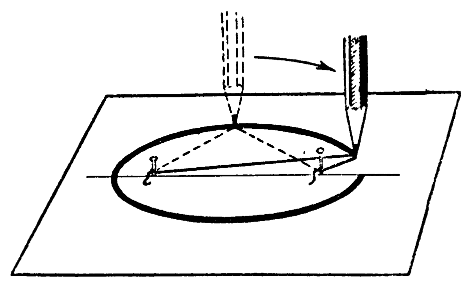
Деление окружности на любое количество равных частей. В данной окружности проводят два взаимно перпендикулярных диаметра *AB* и *CD* (фиг. 2-10). Один из них (*AB*) делят на нужное количество равных частей и из конца *B* этого диаметра радиусом, равным диаметру окружности, проводят дугу *MAN* до пересечения ее с продолжениями другого диаметра *CD*. Из полученных точек *M* и *N* пересечения проводят (через одно деление первого диаметра) прямые до пересечения с противоположной стороной окружности (в точках *1*, *2*, *3* и т. д.). Точки эти разделят окружность на такое же количество равных частей, на какое был разделен ее диаметр.

Сопряжение линий при вычерчивании закругленных углов основано на том, что центр сопрягающей дуги лежит в точке пересечения перпендикуляров к концам сопрягаемых прямых. Несколько примеров сопряжения показано на фиг. 2-11.



Фиг. 2-12. Построение овала.

Овал (фиг. 2-12) состоит из сопряженных дуг двух различных радиусов. Центры противоположных дуг располагаются попарно (O_1 с O_2 и O_3 с O_4) на двух взаимно перпендикулярных прямых. Кроме того, центры каждых двух соседних дуг (например, O_1 и O_3) лежат на прямой, проходящей через точку сопряжения этих дуг.



Фиг. 2-13. Построение эллипса.

Эллипс проще всего может быть вычерчен карандашом с помощью двух булавок и привязанной к ним нитки. Это наглядно иллюстрирует фиг. 2-13.

3. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЧЕРТЕЖИ

Задача технического чертежа — рациональное изображение предметов. Различаются изображения: 1) проекционное, 2) пространственное и 3) схематическое. Какое из них наиболее подходит для данной цели и решается в каждом случае особо. Далее, по исполнению чертежи делятся на: собственно чертежи и эскизы. Эскиз — это то же, что «рисунок от руки». В радиотехнике наряду со схематическими чертежами (так называемыми принципиальными и монтажными схемами) особо важ-

ное значение имеют производственные проекционные чертежи.

Метод прямоугольных (ортогональных) проекций. Вообще проекцией фигуры или тела называется их изображение на плоскости. Прямоугольная проекция предмета получается, если из всех его точек опустить на данную плоскость перпендикуляры; основания этих перпендикуляров на плоскости дадут изображение предмета на плоскости, т. е. дадут его прямоугольную проекцию. Очевидно, проекция предмета на одну плоскость изобразит его только с одной стороны, с одной точки зрения, что не дает наглядного и правильного представления об этом предмете.

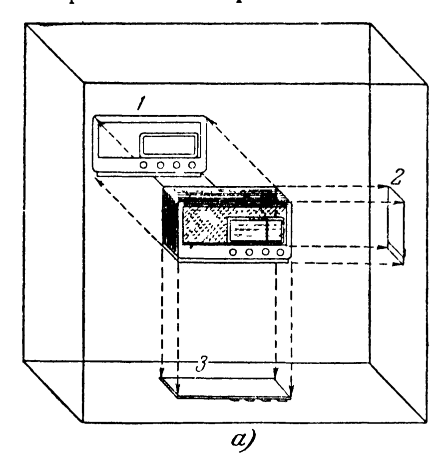
Для ясного и исчерпывающего изображения большинства предметов достаточно дать проекции на три взаимно перпендикулярные плоскости, или просто три проекции (фиг. 2-14): вид спереди («фасад», главный вид), вид слева («профиль») и вид сверху («план»). Чтобы добиться при этом максимальной наглядности, необходимо умело выбрать положение главного вида. Главный вид должен изображать ту сторону предмета, с которой особенно ясными представляются его форма и основные размеры. От выбранного главного вида определяется уже вид сверху (чертится под главным видом) и вид слева (чертится справа от главного вида).

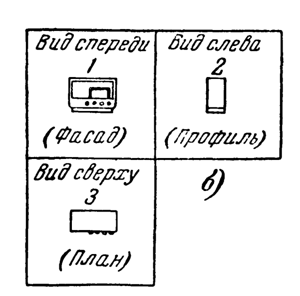
В каждой проекции изображения видимых контуров предмета выполняются сплошными линиями. Контуры, скрытые позади ближайшей к глазу поверхности предмета, изображаются прерывистыми (штриховыми) линиями.

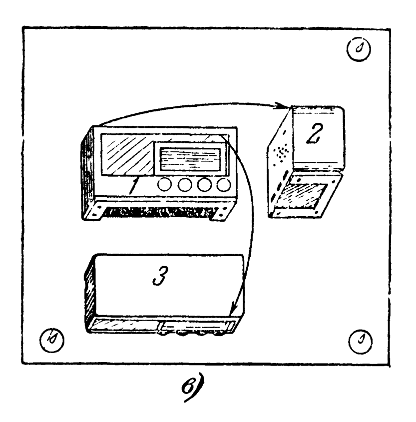
Многие круглые предметы или плоские детали из листового материала нуждаются лишь в двух или даже одной проекции.

Масштабы. Размеры чертежа зависят от деталей предмета, подлежащих четкому изображению. В производственных чертежах отдают предпочтение натуральной величине, т. е. масштабу 1 : 1. Если в этом масштабе чертеж оказывается слишком большим, то допустимо уменьшение, но только в отношениях 1 : 2; 1 : 5; 1 : 10; 1 : 20; 1 : 50 и т. д. С другой стороны, предметы с неразличимо мелкими деталями следует изображать в увеличенном виде, в масштабах 2 : 1, 5 : 1 или 10 : 1. В соответствии с размерами чертежа выбирается формат бумаги. Чертеж может быть обведен рамкой, отстоящей не больше чем на 10 *мм* от краев листа.

Надписи. В правом нижнем углу в рамке помещается штамп чертежа, который состоит из указания масштаба (например, М 1 : 1), названия предмета, номера чертежа, названия учреждения, даты изготовления чертежа и подписей. Выше штампа помещается спецификация — перечень отдельных частей изображенного предмета. Если составной предмет изображается в нескольких чертежах (общий вид в сборке и чертежи отдельных деталей), то на всех чертежах и спецификациях соблюдается одинаковая нумерация деталей. Номера деталей помещаются на выносных «полках». «Полки» рекомендуется рас-







Фиг. 2-14. Принцип получения прямоугольных проекций.

а — проектируемый предмет помещается внутри полого куба и на соответствующих сторонах куба строятся три проекции предмета; *б* — на листе бумаги проекции располагаются в строго определенном порядке; *в* — определение порядка расположения проекций предмета.

полагать по линиям, параллельным или перпендикулярным к строке штампа чертежа.

Образцы шрифтов для штампа, спецификации, а также для надписей на самом чертеже приведены на фиг. 2-15. Нормированные размеры шрифтов: 1,5; 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14 и 20 *мм* (высота прописных, заглавных букв), высота строчных букв составляет $^2/_3$ высоты прописных. Принятый на чертежах наклон букв и цифр составляет 75° к горизонтали (угол 75° легко строится с помощью треугольников с углами 45° и 30°). Надписи не должны пересекать линий и вредить наглядности чертежа.

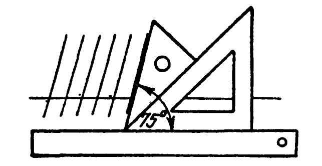
АБВГДЕЖЗИКЛМНОПР

СТУФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯ

абвгдежзиклмнопрс

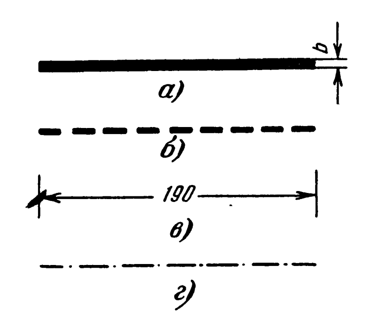
туфхцчшщъыьэюя

1234567890 №



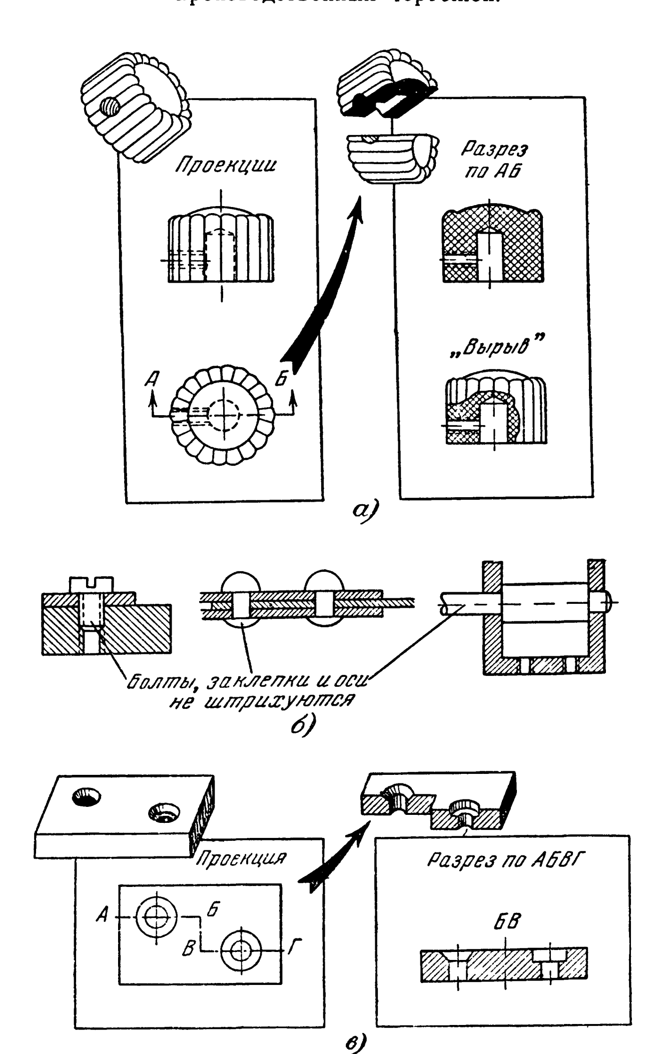
Фиг. 2-15. Образец нормального косого шрифта для производственных чертежей.

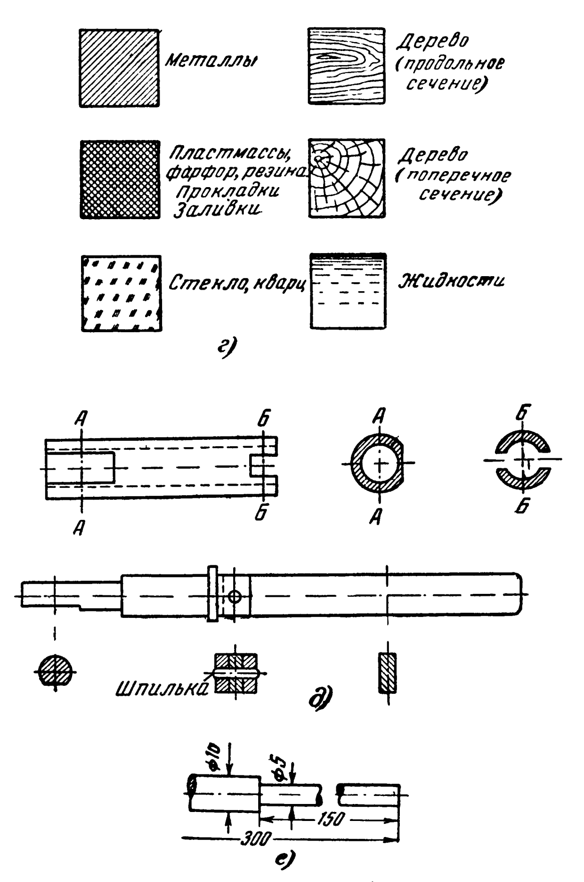
Линии (фиг. 2-16). *Сплошные жирные* линии служат для изображения видимых контуров предмета; толщина их выбирается в пределах 0,4—1,2 *мм*. Так как от толщины этих



Фиг. 2-16. Линии.

а — сплошная толстая; *б* — штриховая; *в* — сплошная тонкая; *г* — штрих-пунктирная.





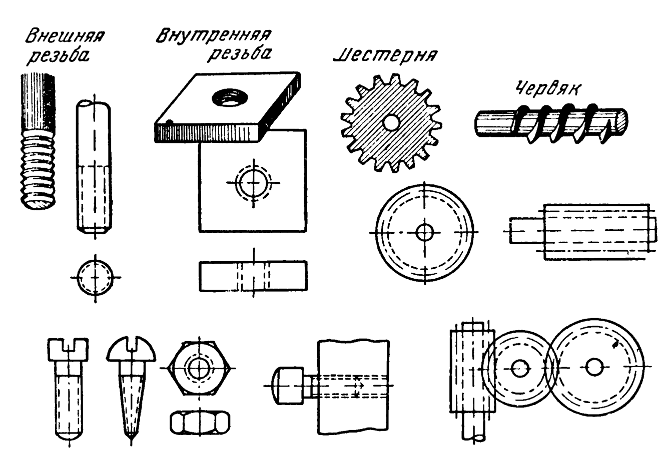
Фиг. 2-17. Разрезы, сечения, обрывы и вырывы.

а — разрез одной детали и вырыв (частичный разрез); *б* — разрезы в сборочных чертежах; *в* — сложный разрез; *г* — обозначение сечений; *д* — изображение сечений; *е* — обрыв и разрыв.

линий зависит толщина всех прочих линий на чертеже, обозначим ее буквой b.

Штриховые линии применяются для изображения невидимых контуров предмета; их толщина берется от $\frac{b}{2}$ до $\frac{b}{3}$.

Сплошные тонкие линии $\left(\frac{b}{4}\right.$ и тоньше$\left.\right)$ служат для простановки размеров. Числа, обозначающие размер, помещаются в разрыве



Фиг. 2-18. Упрощенное изображение резьбы и резьбовых изделий.

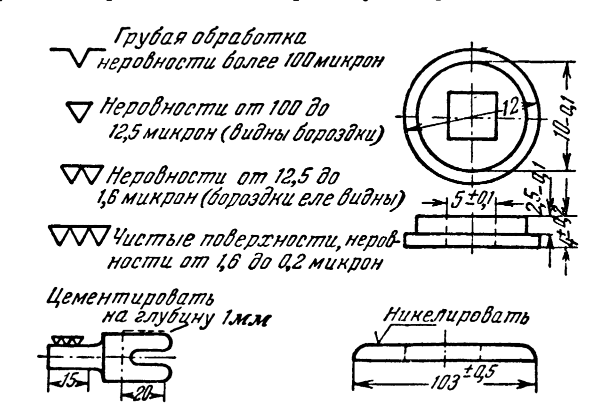
размерной линии, оканчивающейся острыми стрелками, по возможности в середине ее. Размеры указываются в *мм*, причем наименование „*мм*" не ставится.

Штрих-пунктирные линии ($\frac{b}{4}$ и тоньше) вычерчиваются чередующимися точками и тире. Эти линии указывают симметрию предмета («главная средняя линия») или положение центров отверстий («осевая линия»). Главную среднюю линию нет надобности определять указанием размеров: если, например, полоска листового материала имеет в ширину 40 *мм*, то само собой разумеется, что средняя линия должна отстоять от краев ее на 20 *мм*. Наоборот, к средней линии следует относить расстояние до отверстий, так как именно от нее исходят при накернивании центров высверливаемых отверстий. Проставляя размеры, надо отчетливо представлять ход работы на практике: указывать только нужные размеры и относить их к тем линиям, от которых они будут отсчитываться при разметке материала.

Разрез, сечение и обрывы. Чтобы показать внутреннее устройство детали в данном месте, мысленно пересекают ее в этом месте перпендикулярной к детали плоскостью и наносят на бумагу разрез или сечение детали.

Разрезом называется такая условная проекция предмета, когда часть его, находящаяся между глазом наблюдателя и секущей плоскостью, как бы удалена и вычерчивается то, что лежит в самой секущей плоскости и расположено за ней. *Сечение* же изображает лишь то, что расположено в самой секущей плоскости.

Для указания плоскости сечения при разрезах применяют штрих-пунктирные линии.



Фиг. 2-19. Условные обозначения для указания качества обработки деталей и обозначение допусков.

В этих случаях толщина линий берется $\frac{b}{2}$ и больше. *Обрывы* (разрывы) применяются (в целях экономии места и упрощения чертежа) при вычерчивании длинных деталей.

Техника изображения разрезов, сечений и обрывов показана на фиг. 2-17.

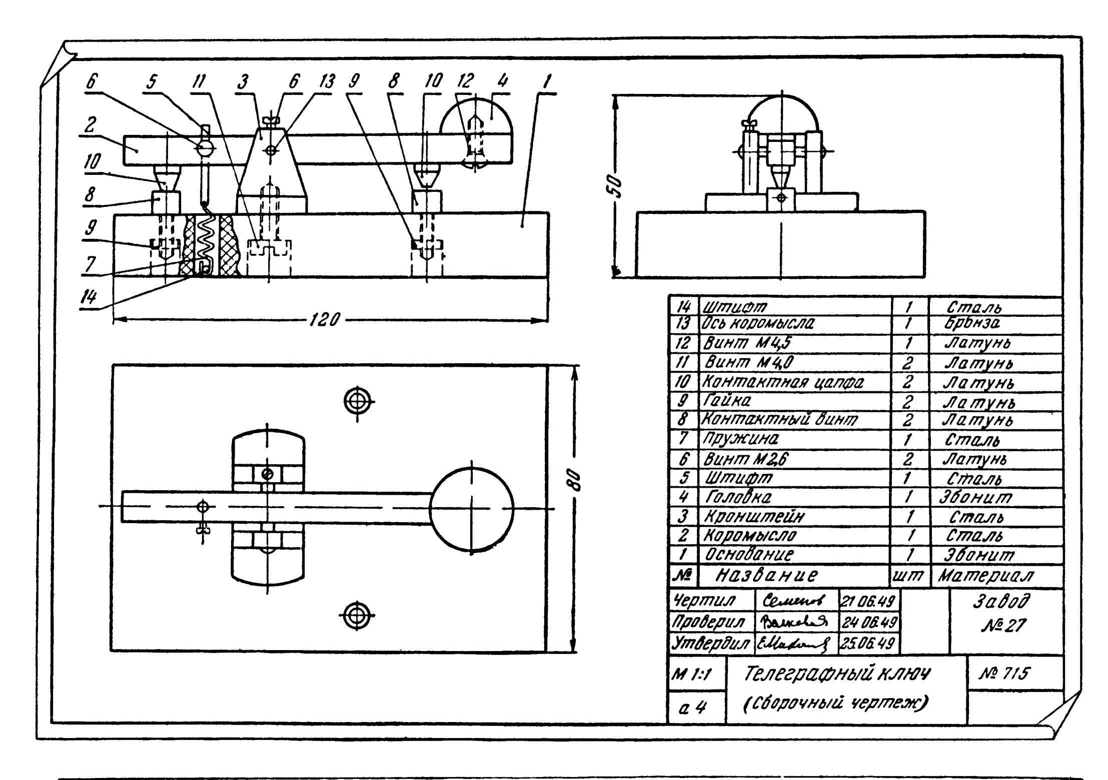
Штриховка выполняется тонкими сплошными линиями, проведенными под углом 45° к горизонтали.

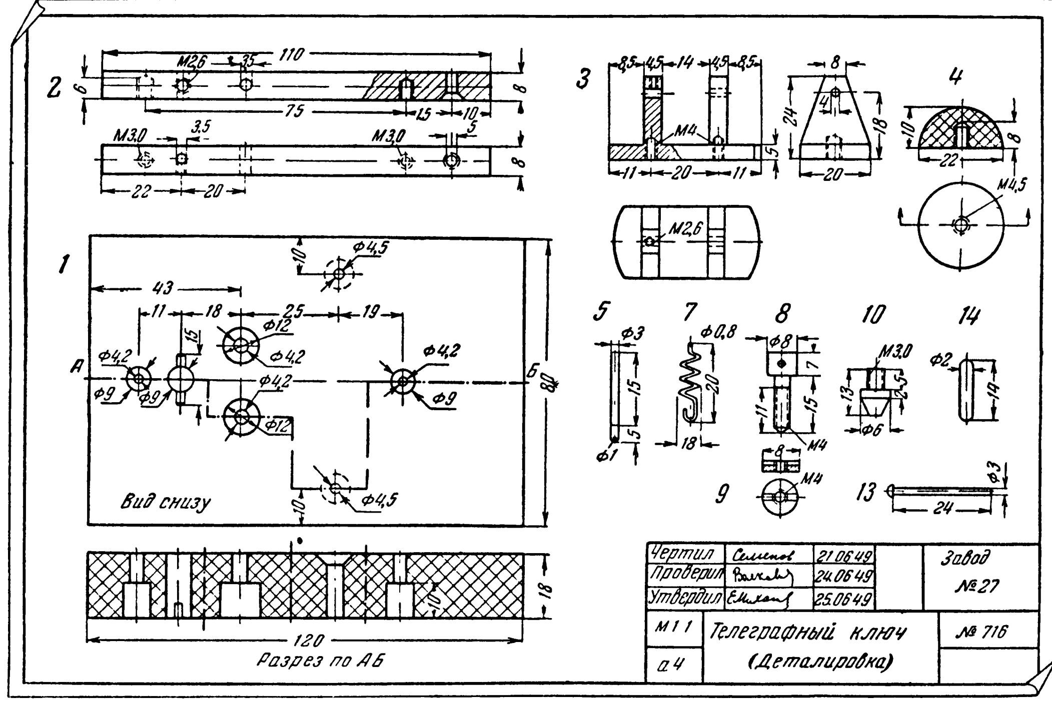
Упрощенный способ изображения резьбы и условные обозначения для указания качества обработки деталей приведены на фиг. 2-18 и 2-19.

Применение всех изложенных правил исполнения технических чертежей иллюстрирует фиг. 2-20.

4. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

В радиотехнических схемах главное значение имеет наглядность их, а конструкция деталей и все ненужное для понимания принципа построения электрической части схемы на чертеж не наносится. Электрические соединения между деталями, изображаемыми условно, хотя и заданы, но чтобы схема получилась





Фиг. 2-20. Производственный чертеж телеграфного ключа.

Виды тока и источники электрической энергии:

= *Постоянный ток*

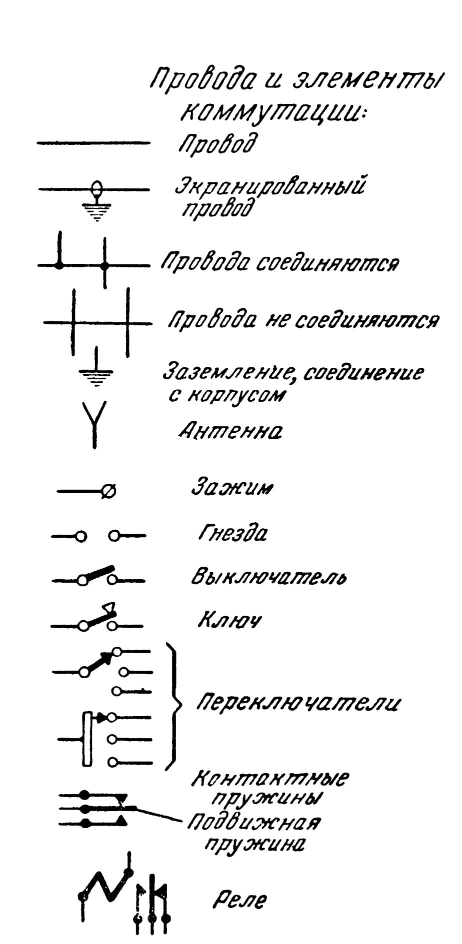
~ *Переменный ток*

Гальванический элемент, аккумулятор

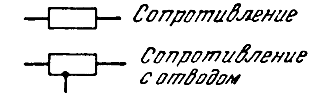
Батарея гальванических элементов или аккумуляторов

Фотоэлемент

Пьезоэлемент, кристалл кварца



Обозначения R, L, C:







Конденсатор постоянной емкости

Электролитический конденсатор

Конденсатор переменной емкости

Подстроечный конденсатор

Катушка индуктивности, дроссель в.ч.

Катушка переменной индуктивности, вариометр

Катушка с подстройкой сердечником из магнитодиэлектрика

Трансформатор в.ч, индуктивно связанные катушки

То же с переменной связью

Катушка со стальным сердечником, дроссель н.ч

Трансформатор н.ч.

Электроакустические приборы:

Микрофон

Звукосниматель

Телефонные трубки

Громкоговоритель

Магнитофонная головка

Фиг. 2-21. Условное обозначение радиотехнических символов.

легко читаемой, размещение их на схеме требует уменья, которое способны развить только навык и опыт. Система радиотехнических символов, рекомендуемая к употреблению как единая, изображена на фиг. 2-21.

изображаются лишь следующие друг за другом узлы (каскады). Однако исчерпывающее представление об устройстве и деталях того или иного радиоаппарата, которое обычно необходимо при его ремонте или изготовлении,



Рис. 2-21 (продолжение). Условное обозначение радиотехнических символов.

Стремление к возможно большему упрощению схем привело к появлению с о к р а щ е н н ы х   п р и н ц и п и а л ь н ы х   с х е м, на которых обозначаются лишь основные узлы и детали, а часть проводов обрывается с пояснением места их присоединения. Еще более простыми схемами являются так называемые с к е л е т н ы е или б л о к-с х е м ы, на которых дают только п о л н ы е   п р и н ц и п и а л ь н ы е схемы. Такие схемы и должны быть в распоряжении радиоремонтной мастерской.

Надписи на схемах выполняются тем же нормированным косым шрифтом, какой принят для производственных чертежей. Размер шрифта должен гармонировать с размерами символов.

* * *

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

Количество электричества. Электрический заряд мы представляем как излишек (отрицательный заряд) или недостаток (положительный заряд) электронов. Хотя заряды всех электронов равны и потому за единицу электричества можно было бы принять заряд электрона, но так как эта величина очень мала, за единицу количества электричества принят кулон (*к*) — заряд $628 \cdot 10^{16}$ электронов. Это — основная единица количества электричества и исходная величина международной системы электротехнических единиц. Кулон называют также ампер-секундой (*а-сек*). В практике пользуются и более крупной единицей количества электричества — ампер-часом (*а-ч*).

1 *а-ч* = 3 600 *к*.

Пример. При зарядке аккумулятора типа АКН-2,25 израсходовано 2,5 *а-ч*. Выразить это количество электричества в кулонах.

Так как 1 *а-ч* = 3 600 *к*, то 2,5 *а-ч* = $3\,600 \cdot 2{,}5$ = 9 000 *к*.

Ток. Электрический ток представляет собой движение электрических зарядов и определяет количество электричества, проходящего через поперечное сечение проводника за время в 1 сек. В формулах ток обозначают латинскими буквами I или i. Основная единица измерения тока — ампер (*а*). Ток в один ампер — это ток, при котором за 1 сек. через поперечное сечение проводника проходит 1 *к* электричества. Более мелкие единицы измерения тока — миллиампер (*ма*) и микроампер (*мка*).

1 *ма* = 0,001 *а* = 10^{-3} *а*;
1 *мка* = 0,000001 *а* = 10^{-6} *а*.

Пример. Радиоприемник «Родина-52» потрёбляет от анодной батареи ток 8 *ма*. Выразить эту величину в амперах.

1 *ма* = 10^{-3} *а*, значит, 8 *ма* = $8 \cdot 10^{-3}$ = 0,008 *а*.

Электрическое сопротивление. Любой материал оказывает сопротивление продвижению в нем электрических зарядов, или, как говорят, оказывает активное сопротивление. На преодоление активного сопротивления проводника при прохождении по нему тока расходуется электрическая энергия, которая переходит при этом в тепловую. Активное сопротивление обозначается латинскими буквами R или r. Основной единицей измерения сопротивления служит ом. 1 *ом* есть сопротивление (при неизменяющемся электрическом токе и температуре тающего льда) ртутного столба длиной в 106,3 *см*, имеющего сечение, одинаковое по всей длине, и массу в 14,45 *г*. В радиотехнике наряду с омом применяют также килоом (*ком*) и мегом (*мгом*).

1 *ком* = 1 000 *ом* = 10^3 *ом*;
1 *мгом* = 1 000 000 *ом* = 10^6 *ом*.

Пример. На сопротивлении обозначена величина 100 000 *ом*. Она может быть выражена так же как 100 *ком* и как 0,1 *мгом*, ибо 100 *ком* = $100 \cdot 10^3$ *ом* = 100 000 *ом* и 0,1 *мгом* = $0{,}1 \cdot 10^{-6}$ *ом* = 100 000 *ом*.

Теми же единицами, что и активное сопротивление, измеряют и реактивные сопротивления конденсаторов и катушек индуктивности переменному току. Принципиальное отличие реактивного сопротивления от активного заключается в том, что оно не вызывает затраты электрической энергии. Заметим, что в формулах реактивные сопротивления обозначают через X_C (емкостное) и X_L (индуктивное). Полное сопротивление цепей переменному току с учетом активного и реактивного сопротивлений обозначают латинской буквой Z. Эта величина измеряется также в омах.

Электродвижущая сила и напряжение. Причина, вызывающая в замкнутой электрической цепи ток, называется электродвижущей силой (э. д. с). Обозначают э. д. с. латинскими буквами E или e. Электродвижущая сила, создающая ток в 1 *а* в цепи с полным сопротивлением в 1 *ом*, представляет основную единицу измерения э. д. с. — вольт (*в*). Производными единицами являются: микровольт (*мкв*), милливольт (*мв*) и киловольт (*кв*):

1 *мкв* = 0,000001 *в* = 10^{-6} *в*; 1 *мв* = 0,001 *в* = 10^{-3} *в*; 1 *кв* = 1 000 *в* = 10^3 *в*.

Такими же единицами измеряется и напряжение (разность потенциалов).

Величину 1 *в* можно определить и как напряжение, возникающее на концах сопротивления в 1 *ом* при токе через него в 1 *а*. Разница между э. д. с. и напряжением состоит в том, что э. д. с. является причиной возникновения электрического тока (перед э. д. с. стоит задача преодолеть сопротивление всех участков электрической цепи, в том числе и внутреннее сопротивление самого источника тока), напряжение же является следствием прохождения тока по электрической цепи: оно

возникает (падает) на каждом участке замкнутой цепи, обладающем сопротивлением, в том числе и на внутреннем сопротивлении источника тока (внутреннее падение напряжения). Сумма падений напряжений на всех участках замкнутой цепи равна э. д. с. источника тока. Электродвижущую силу измерить весьма трудно, так как, подключая к зажимам ненагруженного источника тока вольтметр, мы создаем замкнутую внешнюю цепь, через которую пройдет ток и вызовет падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника тока. Чем больше сопротивление вольтметра, тем ближе показываемое им напряжение к значению э. д. с., но никогда не равно ей, хотя практически разница между ними часто бывает совершенно неощутима. Напряжение в формулах обозначается латинскими буквами U или u.

Пример. Электродвижущая сила, развиваемая пьезоэлектрическим звукоснимателем, в среднем составляет 900 *мв*. Выразить эту величину в вольтах.

1 *мв* $= 10^{-3}$ *в*, следовательно, 900 *мв* $= 900 \cdot 10^{-3}$ *в* $= 0{,}9$ *в*.

Работа и мощность электрического тока. Электрическая энергия легко переходит в другие виды энергии (в тепло, механическую работу и т. д.). Проявление любой энергии, сопровождающееся переходом ее в энергию другого вида, называют работой. Работа электрического тока обозначается буквой A. Количество работы, производимой в течение 1 сек., называется мощностью. Мощность электрического тока обозначается латинской буквой P. Единицей электрической мощности является ватт (ток в 1 *а* при напряжении в 1 *в*). Применяют и более мелкие единицы мощности: микроватт (*мквт*) и милливатт (*мвт*), а также и более крупные: гектоватт (*гвт*), киловатт (*квт*) и мегаватт (*мгвт*).

1 *мквт* $= 0{,}000001$ *вт* $= 10^{-6}$ *вт*; 1 *мвт* $= 0{,}001$ *вт* $= 10^{-3}$ *вт*; 1 *гвт* $= 100$ *вт* $= 10^2$ *вт*; 1 *квт* $= 1\,000$ *вт* $= 10^3$ *вт*; 1 *мгвт* $= 1\,000\,000$ *вт* $= 10^6$ *вт*.

Пример. Мощность радиотрансляционного узла составляет 500 *вт*.

В киловаттах она равна $\frac{500}{1\,000}$ *квт* $= 0{,}5$ *квт*.

В электротехнике единицы работы выведены на основании указанных единиц мощности. Основной единицей работы электрического тока является ватт-секунда (*вт-сек*) — работа, производимая током мощностью в 1 *вт* за время в 1 сек. В практике же преобладающее применение находят более крупные единицы: ватт-час (*вт-ч*), гектоватт-час (*гвт-ч*) и киловатт-час (*квт-ч*).

1 *вт-ч* $= 3\,600$ *вт-сек* $= 36 \cdot 10^2$ *вт-сек*;
1 *гвт-ч* $= 360\,000$ *вт-сек* $= 36 \cdot 10^4$ *вт-сек*;
1 *квт-ч* $= 3\,600\,000$ *вт-сек* $= 36 \cdot 10^5$ *вт-сек*.

Следует запомнить соотношения: 1 *гвт-ч* $= 100$ *вт-ч* $= 10^2$ *вт-ч*; 1 *квт-ч* $= 10$ *гвт-ч* $= 1\,000$ *вт-ч* $= 10^3$ *вт-ч*.

Пример. Сетевой радиоприемник израсходовал в течение 1 мес. 5 000 *вт-ч*. Перевести эту величину в киловатт-часы.

Так как 1 *вт-ч* $= 0{,}001$ *квт-ч*, то 5 000 *вт-ч* $= 5\,000 \times 0{,}001 = 5$ *квт-ч*.

Электрическая емкость. Электрическая емкость конденсаторов и проводников определяет свойство их размещать на себе то или иное количество электричества при определенном потенциале или напряжении. Электрическая емкость обозначается в формулах латинской буквой C.

За основную единицу электрической емкости принята емкость конденсатора, заряжаемого 1 *к* электричества до напряжения 1 *в*. Эта весьма большая для практических целей единица называется фарадой (*ф*). Практическими единицами емкости конденсаторов являются: микромикрофарада (*мкмкф*) или пикофарада (*пф*) и микрофарада (*мкф*):

1 *мкмкф* $= 1$ *пф* $= 10^{-12}$ *ф*; 1 *мкф* $= 10^{-6}$ *ф*.

В старой литературе и на конденсаторах довоенного выпуска можно встретить единицу емкости сантиметр (*см*). Эта единица, очень близкая к пикофараде, в настоящее время не применяется:

1 *см* $\approx 1{,}1$ *пф*.

Пример. Емкость конденсатора в 250 *мкмкф* может быть названа 250 *пф*. В микрофарадах она составляет $250 \cdot 10^{-6} = 0{,}00025$ *мкф*, а в фарадах $250 \cdot 10^{-12}$ *ф*.

Индуктивность и взаимная индуктивность. Индуктивность определяет свойство электрической цепи противодействовать всякому изменению проходящего в ней тока. В формулах индуктивность обозначается латинской буквой L.

Основной единицей измерения индуктивности является генри (*гн*). В цепи, обладающей индуктивностью в 1 *гн*, возникает противодействующая э. д. с. самоиндукции в 1 *в* при равномерном изменении тока на 1 *а* за 1 сек. Долями генри являются микрогенри (*мкгн*) и миллигенри (*мгн*):

1 *мкгн* $= 0{,}000001$ *гн* $= 10^{-6}$ *гн*;
1 *мгн* $= 0{,}001$ *гн* $= 10^{-3}$ *гн*.

В старых книгах может встретиться единица измерения индуктивности **сантиметр** (1 *см* $= 10^{-9}$ *гн*). В настоящее время эта единица не применяется.

Пример. Индуктивность корректирующего дросселя равна 120 *мгн*. В генри эта же величина составляет $120 \cdot 10^{-3}$ *гн* $= 0{,}12$ *гн*, а в микрогенри она равна $0{,}12 \cdot 10^6$ *мкгн* $= 120\,000$ *мкгн*.

При наличии взаимной индуктивности между цепями изменение тока в одной цепи вызывает появление индуктированной э. д. с. в другой. Взаимная индуктивность обозначается буквой M. Единицы измерения взаимной индуктивности те же, что и для измерения индуктивности. Соответственно взаимная индуктивность в 1 *гн* получается при такой связи между двумя цепями, осуществляемой лишь магнитным полем, при которой в одной цепи возникает э. д. с. в 1 *в* от равномерного изменения тока в другой цепи на 1 *а* за 1 сек.

Частота. Основной характеристикой любого процесса, повторяющегося через равные промежутки времени, является частота его повторения или, как говорят, частота его колебания (обозначается латинской буквой f).

Единицей частоты является **герц** (*гц*). Один герц — частота, при которой в течение 1 сек. происходит одно полное колебание. Поскольку радиотехника имеет дело с очень большими частотами, введены дополнительные более крупные единицы частоты: **килогерц** (*кгц*) и **мегагерц** (*мггц*).

1 *кгц* $= 10^3$ *гц*; 1 *мггц* $= 10^6$ *гц*. Заметим, что 1 *мггц* $= 10^3$ *кгц*.

Пример. Частота тока радиостанции равна 174 *кгц*. В герцах это составит $174 \cdot 10^3$ *гц*, а в мегагерцах $\frac{174}{10^3}$ *мггц* $= 0{,}174$ *мггц*.

Правила применения электротехнических единиц. При указании какой-либо электрической величины на схемах, в тексте, на этикетках выбирают обычно наиболее подходящую для ее выражения единицу, с тем чтобы число легко запоминалось, т. е. не было бы слишком большим или, наоборот, слишком малым. Например, сопротивление в 500 000 *ом* предпочитают маркировать 0,5 *мгом*, напряжение порядка 0,0001 *в* лучше выразить как 0,1 *мв* или 100 *мкв*.

Однако при вычислениях по формулам далеко не безразлично, в каких единицах подставлять значения входящих в них величин. Большинство электротехнических формул выведено для основных единиц измерения (*к*, *в*, *а*, *вт*, *ом*, *гн*, *ф*, *гц*). Если формула требует применения иных единиц измерения, то это обязательно оговаривается в пояснениях к ней. Поэтому, прежде чем приступать к вычислению по формуле, надо детально ознакомиться с ней и выяснить, в каких единицах должны быть выражены все связываемые ею величины. Часто необходимо предварительно перевести данные величины в другие единицы и только после этого производить расчет.

Пример. Напряжение выпрямителя $U = 12$ *кв*, а ток нагрузки $I = 3$ *ма*. Определить сопротивление нагрузки R.

Переведем известные величины в основные единицы их измерения: 12 *кв* $= 12\,000$ *в* и 3 *ма* $= 0{,}003$ *а*. Затем по формуле закона Ома (см. ниже) найдем

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12\,000}{0{,}003} = 4\,000\,000 \text{ ом} = 4 \text{ мгом}.$$

2. СВЯЗЬ МЕЖДУ ТОКОМ, НАПРЯЖЕНИЕМ И СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Закон Ома устанавливает зависимость между током в цепи, напряжением, действующим на ее концах, и активным сопротивлением этой цепи:

$$ток = \frac{напряжение}{сопротивление} \text{ (в основных единицах)},$$

или, введя принятые для этих величин формульные обозначения:

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (3\text{-}1а)$$

Пример. Какой ток I проходит по сопротивлению $R = 800$ *ом*, если напряжение на концах сопротивления составляет $U = 220$ *в*?

Подставляя в формулу $I = \frac{U}{R}$ соответствующие значения напряжения и сопротивления, получим

$$I = \frac{220}{800} = 0{,}275 \text{ а} = 275 \text{ ма}.$$

Если напряжение мало по сравнению с сопротивлением, то удобнее ток выражать в **миллиамперах**. Чтобы значение тока получить непосредственно в миллиамперах, надо напряжение умножить на 1 000. Тогда формула примет вид

$$I\,(ма) = \frac{1\,000\,U\,(в)}{R\,(ом)}. \qquad (3\text{-}1б)$$

Пример. Какой ток I проходит через анодное сопротивление в 50 000 *ом*, если на концах этого сопротивления измеренное напряжение равно 120 *в*?

По формуле (3-1б) ток

$$I = \frac{1\,000 \cdot 120}{50\,000} = \frac{120\,000}{50\,000} = 2{,}4 \text{ ма}.$$

По закону Ома можно также найти сопротивление R, когда даны ток I через него и напряжение U на его концах:

$$R = \frac{U}{I}, \qquad (3\text{-}2а)$$

или

$$R\,(ом) = \frac{1\,000\,U\,(в)}{I\,(ма)} \qquad (3\text{-}2б)$$

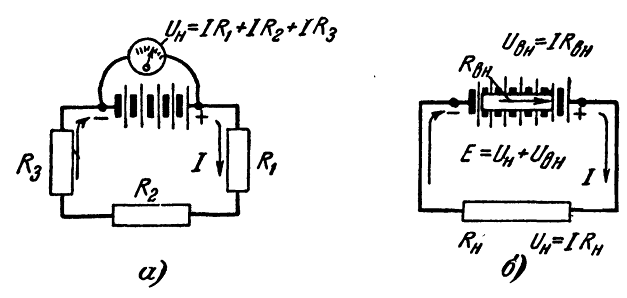
Напряжение на концах сопротивления R, если известен ток I через него, определяется по формулам

$$U = I \cdot R \qquad (3\text{-}3а)$$

или

$$U\,(в) = \frac{I\,(ма) \cdot R\,(ом)}{1\,000}. \qquad (3\text{-}3б)$$

Примеры. 1. Рассчитать величину добавочного сопротивления в цепи накала ламп приемника универсального питания, которое должно поглощать 60 *в* при токе 0,3 *а*. По формуле (3-2а) находим:



Фиг. 3-1. Напряжение (*а*) и э. д. с. (*б*) источника тока.

$$R = \frac{60}{0{,}3} = 200 \text{ ом}.$$

2. Сопротивление смещения, включенное в цепь катода выходной лампы, равно 400 *ом*. Катодный ток (равный сумме анодного тока и тока экранной сетки) равен 40 *ма*. Каково напряжение на концах сопротивления?

По формуле (3-3б) находим:

$$U = \frac{40 \cdot 400}{1\,000} = 16 \text{ в}.$$

Падение напряжения. Падением напряжения называют произведение $I \cdot R$; оно указывает, какая часть э. д. с. теряется в сопротивлении R, введенном в цепь тока I. Напряжение на зажимах нагруженного источника тока равно сумме падений напряжения на всех участках внешней цепи (фиг. 3-1а):

$$U_н = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \ldots, \qquad (3\text{-}4а)$$

где $U_н$ — напряжение, отдаваемое источником во внешнюю цепь;
I — ток в цепи:
R_1, R_2 — сопротивления отдельных участков внешней цепи.

Если полное сопротивление внешней цепи обозначить символом $R_н$, то внешнее падение напряжения

$$U_н = I \cdot R_н. \qquad (3\text{-}4б)$$

Внутреннее падение напряжения в источнике тока равно

$$U_{вн} = I \cdot R_{вн}, \qquad (3\text{-}4в)$$

где $R_{вн}$ — внутреннее сопротивление источника тока.

В сумме внешнее и внутреннее падения напряжений составляют э. д. с. источника тока (фиг. 3-1,*б*):

$$E = I \cdot R_н + IR_{вн}. \qquad (3\text{-}4г)$$

Последняя формула носит название закона Ома для всей цепи в отличие от описанного выше закона Ома для участка цепи.

3. СОПРОТИВЛЕНИЕ

Расчет сопротивления. Величина сопротивления постоянному току проводника при нормальной температуре окружающей среды и самого проводника (+ 20° С) определяется формулой

$$\text{сопротивление }(ом) = \frac{\text{длина провода} \times \text{удельное сопротивление}}{\text{площадь поперечного сечения провода }(мм^2)}.$$

Удельным сопротивлением ρ называется сопротивление проводника длиной 1 *м* и сечением 1 $мм^2$ при температуре 20° С. Величина удельного сопротивления зависит от материала; его значения для некоторых материалов даны в табл. 3-1.

Таблица 3-1

Удельная проводимость γ, удельное сопротивление ρ и температурный коэффициент TKR некоторых материалов

Материал	γ	ρ	TKR
Алюминий	36	0,026	0,004
Константан	2	0,49	0,000004
Манганин	2,4	0,42	0,000008
Медь	57	0,0175	0,004
Никелин	2,3	0,44	0,00002
Нихром	0,9	1,1	0,00015
Серебро	62	0,016	0,0036
Сталь	10	0,1	0,006

Если удельное сопротивление провода ρ неизвестно, то для его определения измеряют диаметр провода и определяют сопротивление провода R на 1 *м* его длины. Вычислив по диаметру провода площадь его поперечного сечения S, находят $\rho = R\,(ом) \cdot S\,(мм^2)$.

Обозначим, как обычно, сопротивление через R в омах, длину провода через l в мет-

рах, площадь поперечного сечения через S в квадратных миллиметрах и удельное сопротивление материала провода через ρ. Тогда можно написать:

$$R = \frac{\rho l}{S}. \qquad (3\text{-}5а)$$

Пример. Каким сопротивлением R обладает константановая проволока при длине $l = 5$ *м* и диаметре $d = 0{,}5$ *мм*?

Из табл. 3-1 находим удельное сопротивление константана $\rho = 0{,}49$. Площадь поперечного сечения проволоки (см. фиг. 1-4) $S = 0{,}785\,d^2 = 0{,}785 \cdot 0{,}5^2 = 0{,}196$ *мм*². Тогда по формуле (3-5а)

$$R = \frac{0{,}49 \cdot 5}{0{,}196} = 12{,}5 \text{ ом}.$$

Следует помнить, что сопротивление провода тем больше, чем больше его длина, чем меньше его площадь сечения (чем тоньше провод) и чем больше удельное сопротивление его материала.

Формулу для расчета сопротивления провода можно преобразовать для непосредственного определения его длины l и площади поперечного сечения S:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho}; \qquad (3\text{-}5б)$$

$$S = \frac{l \cdot \rho}{R}. \qquad (3\text{-}5в)$$

Проводимость и удельная проводимость. При расчетах иногда удобнее пользоваться понятием проводимости вместо понятия сопротивления (например, при параллельном соединении приборов). Проводимостью называется величина, обратная сопротивлению, т. е. $\text{проводимость} = \frac{1}{\text{сопротивление}}$, или в буквенном обозначении

$$G = \frac{1}{R}. \qquad (3\text{-}6)$$

Единица измерения проводимости называется *мо* (проводимость одного ома).

Удельная проводимость материала обозначается греческой буквой γ. Она обратна удельному сопротивлению:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}.$$

Значения удельной проводимости для некоторых материалов приведены в табл. 3-1.

Практически безразлично, вычислять ли сопротивление проволоки по удельному сопротивлению или по удельной проводимости, только в последнем случае вместо формулы (3-5а) следует пользоваться формулой

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot S}. \qquad (3\text{-}7)$$

Сопротивление любого проводника зависит от температуры, при которой он работает. Повышение температуры, как правило, влечет за собой увеличение удельного сопротивления. Изменение сопротивления проводника от температуры характеризуется его температурным коэффициентом *TKR*, который показывает, на какую долю увеличивается удельное сопротивление данного материала при повышении температуры на 1° С. Значения *TKR* для некоторых материалов приведены в табл. 3-1.

Фиг. 3-2. Последовательное соединение сопротивлений.

Фиг. 3-3. Параллельное соединение сопротивлений.

Между прочим, из табл. 3-1 видно, что наибольшим температурным коэффициентом сопротивления обладает сталь. Это обстоятельство используется в стабилизаторах тока — приборах с тонкой стальной нитью, помещенной в баллоне с водородом. Увеличение тока, проходящего по этой нити, приводит к повышению ее температуры и сопротивление ее увеличивается настолько сильно, что оно препятствует увеличению тока. Таким образом, прибор компенсирует изменения тока, вызванные изменениями питающего напряжения или сопротивления нагрузки. Такая цепь не подчиняется закону Ома и называется нелинейной.

При обычных температурных условиях работы радиоаппаратуры температурные отклонения величины сопротивления невелики и с ними часто не считаются.

Соединение сопротивлений. Сопротивления могут быть соединены последовательно, параллельно или смешанно. При последовательном соединении (фиг. 3-2) общее сопротивление равняется сумме отдельных сопротивлений. Если обозначить отдельные сопротивления через R_1, R_2, $R_3, \ldots$, а общее — через R_o, то

$$R_o = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots \qquad (3\text{-}8а)$$

При последовательном включении n равных сопротивлений R

$$R_o = n \cdot R, \qquad (3\text{-}8б)$$

Пример. Найти общее сопротивление соединенных последовательно сопротивлений $R_1 = 100$ *ом*, $R_2 = 220$ *ом* и $R_3 = 5\,000$ *ом*.

Общее сопротивление $R_0 = 100 + 220 + 5\,000 = 5\,320$ *ом*.

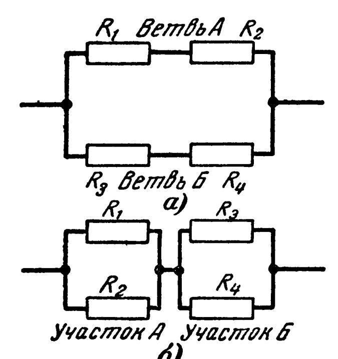
При параллельном соединении сопротивлений (фиг. 3-3) для нахождения общего

сопротивления $R_о$ поступают следующим образом. Сначала определяют общую проводимость $G_о$ соединенных параллельно сопротивлений, равную сумме проводимостей отдельных сопротивлений, т. е. $G_о = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots$, а затем на основании формулы (3-6) $R_о = \frac{1}{G_о}$. Иначе

$$\frac{1}{R_о} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots \qquad (3\text{-}9а)$$

Если все сопротивления между собой равны, то для получения общего сопротивления достаточно разделить величину одного из них на число их n, т. е.

$$R_о = \frac{R}{n}. \qquad (3\text{-}9б)$$



Фиг. 3-4. Смешанное соединение сопротивлений.

а — последовательно соединенные сопротивления включены параллельно; *б* — параллельно соединенные сопротивления включены последовательно.

Если R_1 и R_2 означают два параллельно соединенных, но не равных между собой сопротивления, то формула (3-9а) принимает вид

$$R_о = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \qquad (3\text{-}9в)$$

Примеры. 1. Определить общее сопротивление двух параллельно соединенных сопротивлений в 350 и 500 *ом*.

По формуле (3-9в) находим

$$R_о = \frac{350 \cdot 500}{350 + 500} = 206 \text{ ом}.$$

2. Параллельно соединены сопротивления в 500, 750 и 1 000 *ом*. Определить общее сопротивление.

По формуле (3-9а) находим:

$$\frac{1}{R_о} = \frac{1}{500} + \frac{1}{750} + \frac{1}{1\,000}$$

Приводим дроби к общему знаменателю:

$$\frac{1}{R_о} = \frac{6}{3\,000} + \frac{4}{3\,000} + \frac{3}{3\,000} = \frac{13}{3\,000}$$

и вычисляем

$$R_о = \frac{3\,000}{13} \doteq 230 \text{ ом}.$$

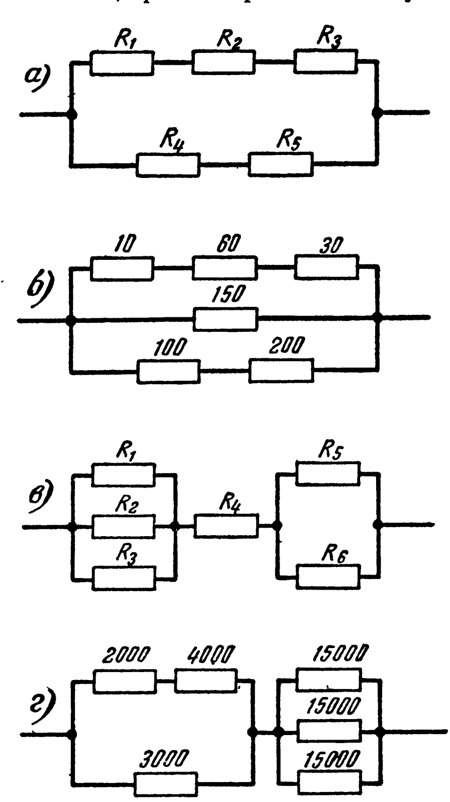
3. Параллельно соединены три сопротивления, каждое по 600 *ом*. Найти общее сопротивление.

По формуле (3-9б) находим

$$R_о = \frac{600}{3} = 200 \text{ ом}.$$

Смешанных соединений сопротивлений различается два вида: 1) параллельно соединены несколько ветвей, составленных из последовательно соединенных сопротивлений (фиг. 3-4,*а*), и 2) несколько последовательных участков цепи составлены из параллельно соединенных сопротивлений (фиг. 3-4,*б*).

В первом случае сначала по формулам (3-8) определяют общее сопротивление каждой ветви, а затем, рассматривая каждую ветвь



Фиг. 3-5. Смешанные соединения сопротивлений для упражнений.

как одно сопротивление, по формулам (3-9) рассчитывают общее сопротивление всех ветвей.

Пример. Определить общее сопротивление цепи, изображенной на фиг. 3-5,*а*. Величины сопротивлений: $R_1 = 0{,}05$ *мгом*; $R_2 = 1{,}2$ *мгом*; $R_3 = 0{,}25$ *мгом*; $R_4 = 0{,}2$ *мгом*, $R_5 = 0{,}8$ *мгом*.

Сначала по формуле (3-8а) определяем общие сопротивления каждой ветви: $R_А = 0{,}05 + 1{,}2 + 0{,}25 = 1{,}5$ *мгом*; $R_Б = 0{,}2 + 0{,}8 = 1$ *мгом*. Затем по формуле (3-9в) находим общее сопротивление обеих параллельно соединенных ветвей:

$$R_о = \frac{R_А \cdot R_Б}{R_А + R_Б} = \frac{1{,}5 \cdot 1}{1{,}5 + 1} = \frac{1{,}5}{2{,}5} = 0{,}6 \text{ мгом}.$$

При расчете смешанного соединения по схеме фиг. 3-4,*б* сначала определяют общие сопротивления каждого участка цепи, а затем, рассматривая эти участки как последовательно соединенные одиночные сопротивления, вычисляют общее сопротивление всей цепи.

Пример. Рассчитать общее сопротивление цепи, изображенной на фиг. 3-5,*в*. Величины сопротивлений: $R_1 = R_2 = R_3 = 150$ *ом*; $R_4 = 25$ *ом*; $R_5 = 20$ *ом*; $R_6 = 30$ *ом*.

Сначала определяем общее сопротивление каждого участка цепи по формуле (3-9б)

$$R_{o1} = \frac{R_1}{3} = \frac{150}{3} = 50 \text{ ом};$$

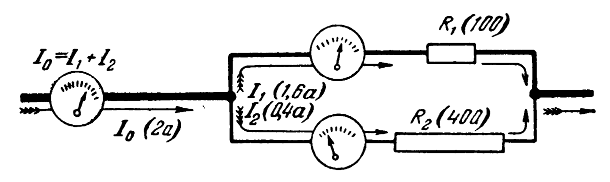
по формуле (3-9в);

$$R_{o2} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} - \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12 \text{ ом}.$$

Затем по формуле (3-8а) находим общее сопротивление всей цепи

$$R_o = R_{o1} + R_4 + R_{o2} = 50 + 25 + 12 = 87 \text{ ом}.$$

Первый закон Кирхгофа. *В каждой узловой точке цепи сумма входящих в нее токов равняется сумме выходящих из нее токов.* Первый



Фиг. 3-6. Схема, поясняющая первый закон Кирхгофа.

закон Кирхгофа, примененный, например, к параллельному соединению двух сопротивлений (фиг. 3-6), гласит: общий ток I_o в цепи равен сумме отдельных токов в ветвях I_1 и I_2, т. е. $I_o = I_1 + I_2$. Вообще для любого разветвления

$$I_o = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots \qquad (3\text{-}10)$$

Токи отдельных ветвей относятся между собой обратно пропорционально их сопротивлениям, т. е. если параллельно соединенные сопротивления обозначить через R_1 и R_2, а токи в них соответственно через I_1 и I_2, то

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}. \qquad (3\text{-}11)$$

На фиг. 3-6 эти сопротивления и токи изображены образно в масштабах, соответствующих их величинам. В данном примере мы видим, что $\frac{100\,(ом)}{400\,(ом)} = \frac{0,4\,(a)}{1,6\,(a)}$, т. е. $\frac{1}{4} = \frac{1}{4}$, и что общий ток равен $1,6 + 0,4 = 2$ *а*.

Законом разветвления тока приходится практически пользоваться, например, при расчете шунтов к амперметрам.

Пример. Миллиамперметр с пределами измерения до 1 *ма* обладает внутренним сопротивлением $R = 6$ *ом*. Подобрать к нему шунт (параллельно приключенное сопротивление $R_ш$), который расширил бы пределы измерения до 10 *ма*.

Определяем ток через шунт $I_ш$. Так как ток через прибор $I = 1$ *ма*, а общий ток через прибор и шунт $I_o = 10$ *ма*, то $I_ш = I_o - I_1 = 10 - 1 = 9$ *ма*. Подставляя в формулу (3-11) известные величины, получаем

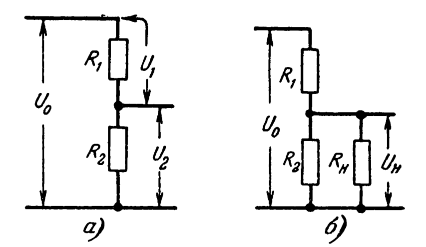
$$\frac{R}{R_ш} = \frac{I_ш}{I}, \text{ т. е. } \frac{6}{R_ш} = \frac{9}{1}.$$

На основании свойств пропорции (произведение крайних членов равно произведению средних) получаем $6 \cdot 1 = R_ш \cdot 9$, откуда

$$R_ш = \frac{1 \cdot 6}{9} = 0,667 \text{ ом}.$$

Как легко видеть, на долю этого шунта приходится $^9/_{10}$ общего тока, тогда как через прибор проходит только $^1/_{10}$ часть его, т. е. 1 *ма*.

Делитель напряжения. Важную роль играет соединение сопротивлений для образования делителей напряжения (фиг. 3-7). Со-



Фиг. 3-7. Делители напряжения.
а — ненагруженный; *б* — нагруженный.

противления, образующие делитель напряжения, часто называют плечами. Когда делитель напряжения устроен так, что соотношение между сопротивлениями его плеч можно плавно регулировать, его называют регулируемым делителем напряжения или потенциометром, например потенциометр для регулирования громкости в радиоприемнике.

Напряжение, устанавливающееся на плечах делителя (падающее в их сопротивлениях), равняется $I \cdot R$, где R — сопротивление, а I — проходящий через него ток. Так как в схеме фиг. 3-7,*а* ток в обоих сопротивлениях одинаков, то напряжения, устанавливающиеся на концах сопротивлений, относятся между собой, как сами сопротивления. Таким образом, напряжение U_2 на нижнем плече R_2 относится ко всему приложенному к потенциометру напряжению U_o, как сопротивление R_2 этого плеча относится к общему сопротивлению делителя, т. е.

$$\frac{U_2}{U_o} = \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

откуда

$$U_2 = \frac{U_o \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \qquad (3\text{-}12)$$

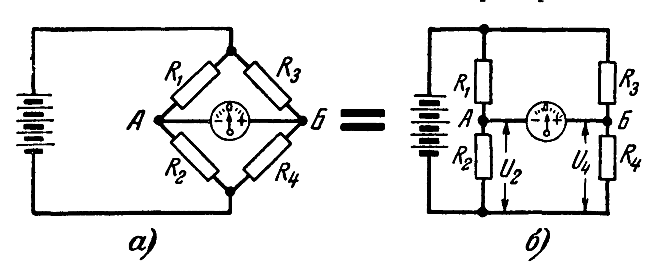
Пример. Делитель напряжения, состоящий из двух сопротивлений (400 и 100 *ом*), находится под напряже-

нием 100 *в*. Определить напряжение на концах сопротивления 100 *ом*.

По формуле (3-12) находим

$$U_2 = \frac{100 \cdot 100}{400 + 100} = 20 \text{ в}.$$

На практике чаще приходится встречаться с нагруженными делителями напряжения, когда к одному из его сопротивлений присоединяется параллельно новое сопротивление, например сопротивление измерительного прибора (фиг. 3-7,*б*). Если $R_н$ очень велико по сравнению с R_2, то прежнее соотношение напряжений почти не меняется. Если же $R_н$ соизмеримо с R_2 или меньше его, то оно оказывает заметное влияние на распределение напряжений между плечами делителя. Так, например, если измерять анодное напряжение радиолампы прибором с малым сопротивлением, то его показания будут неправильными.



Фиг. 3-8. Мост сопротивлений.

Действительное сопротивление плеча, к которому присоединено $R_н$, по формуле (3-9б) равно $R_{2н} = \frac{R_2 \cdot R_н}{R_2 + R_н}$. Тогда согласно формуле (3-12) напряжение на нагруженном плече делителя

$$\dot{U}_н = \frac{U_o \cdot R_{2н}}{R_1 + R_{2н}}. \qquad (3\text{-}12а)$$

Пример. Плечо R_2 предыдущего примера делителя напряжения нагружается сопротивлением $R_н = 200$ *ом*. Каково напряжение на $R_н$?

Находим сначала по формуле (3-8б) общее сопротивление R_2 и $R_н$, т. е.

$$R_{2н} = \frac{100 \cdot 200}{100 + 200} = 66,7 \text{ ом},$$

и определяем затем по формуле (3-12а) напряжение

$$U_н = \frac{100 \cdot 66,7}{400 + 66,7} = 14,3 \text{ в}.$$

Любая нагрузка тем больше уменьшает напряжение на том плече делителя, к которому она присоединяется, чем она больше, т. е. чем меньше нагрузочное сопротивление. Понятно, что одновременно с этим соответственно увеличивается напряжение на ненагруженном плече.

Схема моста. В измерительной технике часто применяются соединения по с х е м е м о с т а. Схема эта представляет собой параллельное соединение двух пар сопротивлений, соединенных последовательно, так что получаются четыре узловые точки (фиг. 3-8,*а*). К двум противоположным узлам подключается источник тока, а к двум другим (в диагональ моста) — нагрузочное сопротивление, например измерительный прибор, а при переменном токе — телефон или другой указатель тока.

Представим себе схему моста как два параллельно включенных делителя напряжения (фиг. 3-8, *б*). Пусть отношения сопротивлений каждого делителя одинаковы т. е. $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$.

Поскольку отношения сопротивлений плеч обоих делителей равны, напряжение делится каждым из них тоже в одинаковом отношении. Следовательно, точки *А* и *Б* находятся под одинаковым потенциалом, поэтому если между ними включить измерительный прибор, то он не покажет никакого тока. Мост, как говорят, с б а л а н с и р о в а н. Таким образом, условием баланса является равенство

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}. \qquad (3\text{-}13а)$$

В таком состоянии моста можно одно из его сопротивлений определить по трем остальным, например:

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}. \qquad (3\text{-}13б)$$

Этим свойством моста пользуются для определения величины неизвестного сопротивления, которое включают в мост в качестве одного из его плеч, и, подбирая остальные плечи из известных сопротивлений, добиваются баланса. Такое измерение обеспечивает очень высокую точность, ибо оно не зависит от колебаний напряжения и других факторов, одинаково влияющих на работу обоих делителей моста.

В соответствии с тем, какие детали образуют плечи моста, различаются мосты сопротивлений (фиг. 3-8,*а*), емкостей, индуктивностей и др.

4. МОЩНОСТЬ И РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Электрическая мощность. Электрическая мощность P зависит от напряжения U и тока I. При постоянном токе она равна произведению этих величин:

$$P = U \cdot I. \qquad (3\text{-}14а)$$

По закону Ома можно в формуле (3-14а) ток I или напряжение U выразить через сопротивление R; тогда

$$P = I \cdot R \cdot I = I^2 \cdot R; \qquad (3\text{-}14б)$$

$$P = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}. \qquad (3\text{-}14в)$$

Пример. Приемник с питанием от источника постоянного тока в рабочем состоянии обладает сопротивлением 1 200 *ом*. Какую мощность расходует он при напряжении питания в 220 *в*?

По формуле (3-14в) находим, что

$$P = \frac{220^2}{1\,200} = 40 \text{ вт}.$$

Преобразуя соответствующим образом формулы (3-14б) и (3-14в), можно по мощности определить сопротивление или ток, если известно напряжение, и т. д.

Примеры. 1. Сопротивление потребляет мощность 100 *вт* при напряжении 220 *в* постоянного тока. Как велико это сопротивление и какую мощность оно будет потреблять при напряжении 110 *в*?

Преобразуя формулу (3-14в) определяем, что $R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484$ *ом*. Затем по формуле (3-14в) находим $P = \frac{110^2}{484} = 25$ *вт*.

2. Два сопротивления включены параллельно друг другу. В одном из них $R_1 = 10$ *ом* расходуется мощность $P_1 = 25$ *вт*. В другом сопротивлении R_2 расходуется мощность $P_2 = 15$ *вт*. Найти величину второго сопротивления R_2.

На основании формулы (3-14в) можно написать

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} \text{ и } P_2 = \frac{U_2^2}{R_2},$$

или

$$P_1 \cdot R_1 = U_1^2 \text{ и } P_2 \cdot R_2 = U_2^2,$$

где U_1 и U_2 — напряжения на данных сопротивлениях R_1 и R_2. Поскольку сопротивления включены параллельно друг другу, $U_1 = U_2$ и, следовательно, $P_1 \cdot R_1 = P_2 \cdot R_2$, откуда

$$R_2 = \frac{P_1}{P_2} \cdot R_1. \qquad (3\text{-}14г)$$

Подставляя числа, получим

$$R_2 = \frac{25}{15} \cdot 10 = 16{,}7 \text{ ом}.$$

Если не вся подводимая ($P_{подв}$) к цепи мощность расходуется в ней полезно ($P_{полез}$), то говорят о коэффициенте полезного действия (к. п. д.) η цепи, источника и т. п.

$$\eta = \frac{P_{полез}}{P_{подв}}. \qquad (3\text{-}15)$$

Так как к. п. д. всегда меньше единицы, то его обычно выражают в процентах.

Пример. От источника с напряжением 6 *в* питается лампочка на 3,5 *в* и 0,84 *вт*. Для погашения излишка напряжения последовательно с ней включено сопротивление R. Определить величину этого сопротивления, мощность, поглощаемую им, и к. п. д. цепи.

Излишек напряжения $U_{из} = 6 - 3{,}5 = 2{,}5$ *в*. Ток в цепи находится по формуле (3-14 а), как

$$I = \frac{P}{U} = \frac{0{,}84}{3{,}5} = 0{,}24 \text{ а}.$$

Тогда величина гасящего сопротивления

$$R = \frac{U_{из}}{I} = \frac{2{,}5}{0{,}24} = 10{,}4 \text{ ом}.$$

Мощность, поглощаемая им,

$$P_2 = U_{из} \cdot I = 2{,}5 \cdot 0{,}24 = 0{,}6 \text{ вт},$$

а к. п. д.

$$\eta = \frac{P}{P + P_2} = \frac{0{,}84}{0{,}84 + 0{,}6} = 0{,}58, \text{ или } 58\%.$$

Допустимая нагрузка. Электрический ток, проходя по проводнику, нагревает его. Чем больше ток и чем меньше при данном токе площадь сечения провода, тем сильнее нагревается провод. Чтобы нагрев приборов током не был бы очень сильным, площадь сечения проводов должна выбираться в соответствии с нагрузочным током. Нагревание прибора в значительной степени зависит и от его конструкции: чем лучше условия охлаждения, тем меньше прибор будет нагреваться.

При расчетах проводов пользуются допустимой в разных случаях плотностью тока, т. е. допустимым значением тока на 1 *мм*² площади сечения провода. В наиболее распространенных случаях радиоремонтной практики руководствуются следующими предельными значениями плотности тока δ:

1. Для реостатов и балластных проволочных сопротивлений, выполненных на фарфоровых или керамических каркасах одним слоем голой проволоки, $\delta = 6 \div 10$ *а/мм*².

2. Для обмоток электромагнитов, реле, звонков, рассчитанных на кратковременные включения, $\delta = 4 \div 5$ *а/мм*².

3. Для обмоток трансформаторов мощностью до 75 *вт*, а также для обмоток дросселей, реле и проволочных сопротивлений с многослойной намоткой (например, сопротивления сеточного смещения), рассчитанных

на длительное включение, $\delta = 2 \div 3$ *а/мм²*, то же мощностью $75 \div 300$ *вт* $\delta = 1,5$ *а/мм²*.

4. Для шунтов и добавочных сопротивлений в измерительной аппаратуре $\delta \leqslant 1$ *а/мм²*.

5. Для нагревательных приборов в зависимости от материала проволоки, конструкций прибора и условий работы $\delta = 8 \div 20$ *а/мм²*.

Определение диаметра провода на заданный ток при допустимой плотности тока δ производят по формуле

$$d = 1,3 \sqrt{\frac{I}{\delta}}, \qquad (3\text{-}16)$$

где d — необходимый диаметр провода, *мм*;
I — ток, *а*;
δ — плотность тока, *а/мм²*.

Пример. Какой диаметр должна иметь проволока для обмотки трансформатора мощностью 40 *вт*, если ток в этой обмотке равен 0,3 *а*?

Выбираем (согласно п. 3) плотность тока $\delta = 2$ *а/мм²*. По формуле (3-16) находим

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{0,3}{2}} = 0,44 \text{ мм}.$$

При выборе для радиоаппаратуры непроволочных сопротивлений руководствуются мощностью, рассеиваемой на сопротивлении при работе аппарата. Непроволочные сопротивления выпускаются на различные нормально рассеиваемые ими мощности (0,25, 0,5, 1, 2 *вт* и больше). При установке сопротивления в аппарат надо следить за тем, чтобы выделяемая в сопротивлении мощность не превышала норму. Подсчет рассеиваемой в сопротивлении мощности производят по формуле (3-14а). Обычно исходными величинами является величина сопротивления и тока через него или напряжение, поэтому пользуются чаще формулами (3-14б) и (3-14в).

Пример На какую мощность должно быть рассчитано сопротивление в 0.1 *мгом* = 100 000 *ом*, если проходящий по нему ток равен 3 *ма* = 0,003 *а*?

По формуле (3-14б) находим $P = 0,003^2 \cdot 100\,000 = 0,9$ *вт*.

Поскольку ближайшими нормированными мощностями сопротивлений являются 0,5 и 1 *вт*, выбираем сопротивление на мощность 1 *вт*.

Если под руками не имеется сопротивления на необходимую нагрузку, то прибегают к соединению нескольких сопротивлений, причем, чтобы не усложнять расчетов, рекомендуется соединять одинаковые сопротивления.

Проволочные сопротивления, рассчитанные на меньший ток, чем надо, соединяют параллельно, причем столько сопротивлений надо соединить, во сколько раз допустимый для них ток меньше требующегося. Например, если ток в цепи составляет 0,3 *а*, а в нашем распоряжении имеются сопротивления, рассчитанные на ток в 0,1 *а*, то для включения в указанную цепь надо соединить параллельно три таких сопротивления. Но чтобы при этом их общее сопротивление было равно заданному, величина каждого из соединяемых сопротивлений должна быть во столько раз больше заданной, сколько сопротивлений соединяются параллельно. Если в приведенном примере требуется сопротивление на 150 *ом*, то каждое из трех соединяемых сопротивлений должно иметь 450 *ом*.

Если при намотке проволочных сопротивлений не окажется под руками провода на необходимую нагрузку током, то намотку можно производить более тонким проводом, но вести ее сразу в два или три провода. При намотке в два провода диаметр проводов может быть взят в 1,4 раза меньше против нормы, а при намотке в три провода — в 1,8 раза.

Если предельная нагрузка на сопротивлении указана в ваттах и она меньше мощности, рассеиваемой на сопротивлении в схеме, то можно прибегать и к параллельному и к последовательному соединению сопротивлений, лишь бы общее сопротивление их получилось равным сопротивлению, необходимому для схемы. Общая мощность рассеяния получается во столько раз больше мощности одного сопротивления, сколько одинаковых сопротивлений соединено.

Пример. Для схемы необходимо сопротивление в 20 000 *ом* на 1 *вт*. Имеются же сопротивления по 20 000 *ом* на 0,25 *вт* каждое.

Соединив параллельно два таких сопротивления, мы получим общее сопротивление в 10 000 *ом* и общую мощность 0,5 *вт*. Очевидно, последовательно с ними следует включить еще два соединенных таким же способом сопротивления. Тогда общее сопротивление будет равно 20 000 *ом*, а общая мощность 1 *вт* (четыре сопротивления по 0,25 *вт*).

Работа электрического тока. Работа электрического тока определяется формулой

$$A = P \cdot t, \qquad (3\text{-}17)$$

где A — работа тока;
P — его мощность;
t — время.

При расчете по этой формуле работа получается в единицах, название которых составляется из единиц, примененных для P и t.

Пример. Какова работа при мощности 50 *вт* в течение 3 час.? По формуле (3-17) находим $A = 50 \cdot 3 = 150$ *вт-ч* = 1,5 *гвт-ч*.

Тепловое действие тока. Количество выделяемого током тепла в общем случае определяется работой, производимой током в данном участке цепи: $Q = 0,24\ A$, где Q — коли-

чество тепла в малых калориях и A — работа тока в ватт-секундах.

Поскольку $A = P \cdot t$, а $P = I^2 \cdot R$ [формула (3-14б)], то после подстановки равнозначных величин получаем:

$$Q = 0{,}24\, I^2 \cdot R \cdot t. \qquad (3\text{-}18)$$

Там, где требуется получить сильный нагрев, надо, очевидно, увеличивать ток в приборе и его сопротивление R. Но где выделение током тепла приводит к непроизводительной затрате энергии (например, в проводах, подводящих ток к нагрузочному сопротивлению, в обмотках трансформаторов. и т. п.), необходимо для уменьшения этих потерь уменьшать ток I и сопротивление R. Если ток задан и его нельзя изменять по собственному усмотрению, то нужно уменьшать сопротивление проводов, что достигается применением проводов бóльшего диаметра.

Часто сильный нагрев наблюдается у контактов выключателей и реле, в штепсельных соединениях, у коллекторов генераторов и электродвигателей, что является следствием большого сопротивления контактов. Увеличение сопротивления контактных соединений вызывается окислением или загрязнением их соприкасающихся поверхностей. Поэтому надо следить за чистотой контактов и время от времени очищать их от пыли, окиси и нагара. Кроме того, при эксплуатации контактных соединений никогда не следует превышать допустимую для них нагрузку током, так как перегрузка быстро выводит их из строя. Так как нагрев проводника проходящим по нему током сопровождается увеличением его электрического сопротивления, то даже незначительный нагрев сопротивлений в измерительных приборах заметно снижает точность измерений. Поэтому для сопротивлений измерительной аппаратуры выбирают пониженную плотность тока (до 1 $а/мм^2$) и применяют материалы с малым температурным коэффициентом (например, манганин, константан).

5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБМОТКА

Наиболее часто встречающейся задачей ремонта и переделки приборов, использующих электромагнитные явления, является перемотка обмотки без изменения конструкции прибора. Поэтому мы остановимся только на расчетах, связанных с выполнением такого рода операций.

Сила электромагнита. Обязательной частью всякого электромагнитного прибора, использующего механическое действие тока, — будь то реле, громкоговоритель или измерительный прибор, — является электромагнит (катушка со стальным сердечником) или соленоид (катушка без сердечника). В некоторых типах таких приборов бывает по две катушки. Кроме того, в электромагнитных приборах используются магнитопроводы, постоянные магниты и специальные проводники для индуктированных токов.

Какая часть прибора сделана неподвижной и что применено в качестве подвижной части (якоря или ротора), зависит от вида используемого в приборе электромагнитного явления и от конструкции прибора.

Проявляющаяся при включении тока сила механического взаимодействия подвижной части прибора с неподвижной зависит от конструкции и материалов магнитопровода и от числа ампервитков. А м п е р в и т к а м и ($ав$) называют произведение числа витков катушки на величину проходящего по ней тока

$$ав = I \cdot w, \qquad (3\text{-}19)$$

где I — ток, $а$;
w — число витков.

При неизменной конструкции магнитопровода сила электромагнита определяется только числом ампервитков. Чем больше ампервитки, тем сильнее механическое действие электромагнитной обмотки.

Для обычных конструкций реле необходимое число ампервитков с достаточной точностью может быть определено по формуле

$$I \cdot w = (15n + 30) \cdot 1{,}5, \qquad (3\text{-}20)$$

где n — число подвижных пружин реле.

Зная ток, при котором реле должно срабатывать, можно определить необходимое число витков обмотки, для чего найденные по формуле (3-20) ампервитки надо разделить на величину рабочего тока в амперах.

Пример. Реле, включенное в анодную цепь лампы, должно срабатывать при токе 10 $ма = 0{,}01$ $а$. Сколько витков должна иметь его обмотка, если контактная система реле содержит три подвижных пружины?

По формуле (3-20) определяем при $n = 3$ необходимое число ампервитков $I \cdot w = (15 \cdot 3 + 30) \cdot 1{,}5 = 113$. Следовательно,

$$w = \frac{113}{I} = \frac{113}{0{,}01} = 11\,300 \text{ витков}.$$

В случае ремонта любого электромагнитного прибора при перемотке катушки надо точно выдерживать моточные данные (число витков, тип и диаметр провода). Даже небольшое отступление от прежнего диаметра проволоки может заметно изменить сопротивление обмотки, а это, в свою очередь, приведет к изменению тока и числа ампервитков,

в результате чего нарушится нормальная работа прибора.

Перерасчет обмотки. В случаях, когда измерительный прибор реле или другое устройство с электромагнитом требуется приспособить для работы при ином напряжении или токе, нет нужды переделывать весь прибор. В большинстве случаев для этого бывает достаточно перемотать обмотку прибора на новое напряжение с сохранением прежнего числа ампервитков, т. е. *ампервитки до перемотки = = ампервитки после перемотки,* или

$$I_1 \cdot w_1 = I_2 \cdot w_2, \qquad (3\text{-}21)$$

где I_1 и w_1 — ток и число витков до перемотки;

I_2 и w_2 — то же после перемотки.

Отсюда непосредственно находят новое число витков, если задан новый ток:

$$w_2 = w_1 \cdot \frac{I_1}{I_2} \qquad (3\text{-}21а)$$

или, вводя (в целях упрощения формул) коэффициент пересчета:

$$k = \frac{I_1}{I_2}, \qquad (3\text{-}21б)$$

получают формулу

$$w_2 = w_1 \cdot k. \qquad (3\text{-}21в)$$

Заметим вытекающее из этой формулы выражение коэффициента пересчета

$$k = \frac{w_2}{w_1}. \qquad (3\text{-}21г)$$

Если пересчет обмотки надо произвести не по току, а по напряжению, при котором работает электромагнит, то коэффициент k находится по формуле

$$k = \frac{U_2}{U_1}, \qquad (3\text{-}21д)$$

где U_1 и U_2 — соответственно прежнее и новое напряжения на концах обмотки.

В обоих случаях диаметр провода новой обмотки должен быть равен

$$d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{k}}, \qquad (3\text{-}22)$$

где d_1 — диаметр провода прежней обмотки.

Если требуется определить сопротивление R_2 новой обмотки, то, зная сопротивление R_1 прежней обмотки, пользуются формулой

$$R_2 = R_1 \cdot k^2. \qquad (3\text{-}23а)$$

Эта формула верна только в том случае, если для новой обмотки взят провод диаметром, определенным по формуле (3-22). В общем же случае

$$R_2 = R_1 \frac{w_2}{w_1} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2. \qquad (3\text{-}23б)$$

Заметим еще, что формулы (3-23а и 3-23б) справедливы лишь при условии, что новая намотка выполняется проводом из того же материала, из какого был провод прежней обмотки.

Пример. Электромагнитный амперметр со шкалой на 6 *а* имеет катушку, состоящую из 46 витков провода диаметром 1,8 *мм*. Как перемотать ее, чтобы стрелка прибора отклонялась на всю шкалу при токе 1,5 *а*?

По формуле (3-21а) определяют

$$w_2 = 46 \frac{6}{1,5} = 184 \text{ витка.}$$

Так как $k = \frac{w_2}{w_1} = \frac{184}{46} = 4$, то по формуле (3-22) находим

$$d_2 = \frac{1,8}{\sqrt{4}} = 0,9 \text{ мм.}$$

Перерасчет индуктивности обмотки. Индуктивность катушки со стальным сердечником определяется по числу витков в ней, если только известен коэффициент формы K_1 — постоянное для данного сердечника число, зависящее от его конструкции и свойств стали:

$$L = K_1 \cdot w^2, \qquad (3\text{-}24)$$

где L — индуктивность, *мкгн*;

w — число витков.

Эта формула может оказаться полезной при изготовлении катушки с сердечником, на котором прежде была намотана катушка с известными параметрами.

Пример. Дроссель низкой частоты с числом витков $w = 3\,000$ обладает индуктивностью $L = 50$ *гн* = = 50 000 000 *мкгн*. Сколько нужно витков на том же сердечнике для получения индуктивности $L' = 15$ *гн* = = 15 000 000 *мкгн*?

Из формулы (3-24) определяем коэффициент формы K_L для данной конструкции дросселя

$$K_L = \frac{L}{w^2} = \frac{50\,000\,000}{3\,000^2} = 5,5.$$

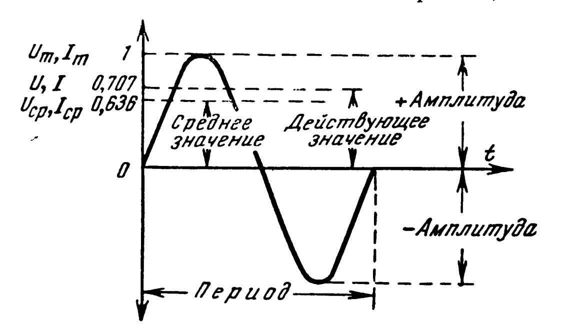
$$\text{Тогда } w' = \sqrt{\frac{L'}{K}} = \sqrt{\frac{15\,000\,000}{5,5}} = 1\,640 \text{ витков.}$$

6. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Синусоидальный ток. Из различных форм переменных токов особенно важен ток синусоидальный. Характеристиками синусоидального тока являются период (частота) и ампли-

туды напряжения и тока (или их действующие значения).

Период и частота. Периодом называется время, в течение которого происходит одно полное изменение тока или напряжения (фиг. 3-9). Количество периодов в 1 сек. называют частотой. Таким образом, зная



Фиг. 3-9. Синусоидальный ток (напряжение), его период, амплитуда, действующее и среднее значения.

длительность одного периода, можно вычислить частоту, и наоборот,

$$f = \frac{1}{T}, \text{ или } T = \frac{1}{f}, \quad (3\text{-}25)$$

где f — частота, *гц*;
T — период, сек.

Пример. Период $T = 0{,}02$ сек. Определить частоту f. Согласно формуле (3-25) находим

$$f = \frac{1}{0{,}02} = 50 \text{ гц}.$$

Амплитуда. Амплитудами переменного тока или напряжения считают их максимальные значения, которые они достигают дважды за каждый период. Амплитудное значение тока обычно обозначают символом I_m, напряжения U_m и э. д. с. E_m. Различают положительные и отрицательные амплитуды, причем по абсолютному значению они равны и отличаются только полярностью (направлением).

Хотя амплитудные значения и применяются в некоторых радиотехнических расчетах, но в ряде случаев удобнее пользоваться понятием действующих значений их. Действующие значения тока и напряжения соответствуют величине постоянного тока, выделяющего в одном и том же активном сопротивлении такое же количество тепла. Действующие значения I и U синусоидального тока и напряжения равны

$$I = 0{,}707 I_m; \ U = 0{,}707 U_m. \quad (3\text{-}26)$$

Пример. Измерительный прибор градуирован в амплитудных значениях напряжения. При измерении он показал напряжение 3 *в*. Найти действующее значение напряжения при условии, что оно синусоидально. По формуле (3-26) находим $U = 0{,}707 \cdot 3 = 2{,}12$ *в*.

Среднее значение. Средним значением синусоидального тока (напряжения) называется среднеарифметическое всех его значений, которые он принимает в течение одного полупериода. Оно равно 0,636 амплитудного или, что одно и то же, 0,9 действующего значения, т. е.

$$\left.\begin{aligned} I_{cp} &= 0{,}636 I_m = 0{,}9 I; \\ U_{cp} &= 0{,}636 U_m = 0{,}9 U. \end{aligned}\right\} \quad (3\text{-}27)$$

Среднее значение синусоидального тока (напряжения) за период равно нулю, так как на протяжении первого полупериода ток имеет одно направление, а на протяжении второго полупериода — обратное. Однако в случае двухполупериодного выпрямления переменного тока в постоянный ток имеет одинаковое направление, и величина выпрямленного тока определяется именно среднеарифметическим всех мгновенных значений.

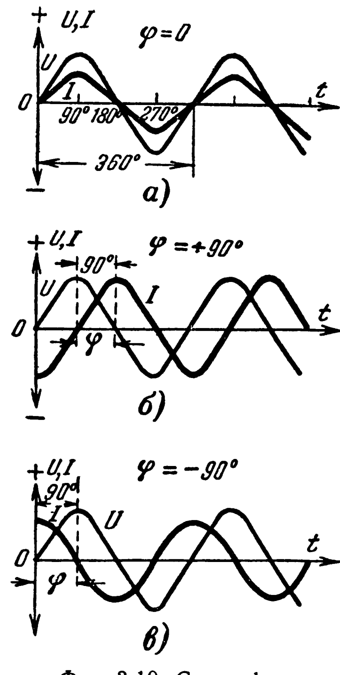
При описании цепей переменного тока, когда говорят просто о напряжении или токе, не оговаривая амплитудных, действующих или средних значений, всегда имеют в виду их действующие значения.

Сдвиг фаз. Когда переменная э. д. с. и вызванный ею в замкнутой цепи ток проходит через соответствующие мгновенные значения одновременно (фиг. 3-10,*а*), то говорят, что ток и напряжение находятся в фазе или синфазны. Когда напряжение достигает определенного значения в период раньше или позднее, чем достигает соответствующего значения ток, то говорят, что ток и напряжение сдвинуты по фазе. Ток отстает от напряжения, если он достигает своего максимального значения после достижения такового напряжением (фиг. 3-10,*б*), и ток опережает напряжение, если он достигает максимального значения раньше достижения такового напряжением (фиг. 3-10,*в*).

Сдвиг фаз может быть выражен в градусах. Период принимают равным 360° и ту долю периода, на которую график тока сдвинут по отношению к графику напряжения, выражают в градусах и называют углом сдвига фаз (φ). Различают положительный сдвиг фаз, когда изменения тока запаздывают от соответствующих изменений напряжения (фиг. 3-10,*б*), и отрицательный, когда ток опережает напряжение (фиг. 3-10,*в*).

Пульсирующий ток. Пульсирующим током называется переменный по величине, но постоянный по направлению ток.

Пульсирующий ток возникает в цепи при последовательном соединении двух источников тока, один из которых обладает постоянной, а другой — переменной э. д. с., если только постоянная э. д. с. не ниже амплитуды переменной[1] (фиг. 3-11,*а*).



Фиг. 3-10. Сдвиг фаз.

Если постоянное напряжение меньше амплитуды переменного напряжения, то получается несимметричный переменный ток, у которого отрицательные максимумы не равны положительным (фиг. 3-11,*б*). Это позволяет пульсирующий или несимметричный переменный ток независимо от того, каким способом он получен, рассматривать как сумму некоторого постоянного тока $I_=$ и переменного тока $I_\sim$. Такой прием оказывается очень удобным при анализе работы и расчете цепей пульсирующего тока, например анодных цепей электронных ламп.

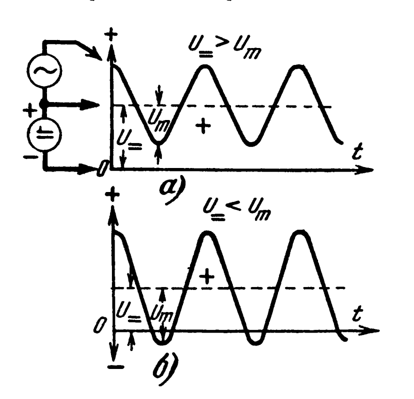
Каждый из токов $I_=$ и $I_\sim$, дающих в сумме пульсирующий или несимметричный переменный ток, называют с о с т а в л я ю щ и м и. Если ток и напряжение постоянной составляющей обозначить через $I_=$ и $U_=$, а переменной составляющей — через $I_\sim$ и $U_\sim$ (действующие значения) и I_m, U_m (амплитудные значения), то суммарный ток будет характеризоваться следующими соотношениями.

1. *Максимальные* значения ($U_{макс}$, $I_{макс}$) равны сумме постоянной составляющей и амплитуды переменной составляющей:

$$U_{макс} = U_= + U_m;\ I_{макс} = I_= + I_m. \quad (3\text{-}28)$$

2. *Средние* значения ($U_{ср}$, $I_{ср}$) равны постоянной составляющей:

$$U_{ср} = U_=;\ I_{ср} = I_=. \quad (3\text{-}29)$$



Фиг. 3-11. Пульсирующее (*а*) и несимметричное переменное (*б*) напряжения.

3. *Действующие* значения (U, I) равны:

$$U = \sqrt{U_=^2 + U_\sim^2};\ I = \sqrt{I_=^2 + I_\sim^2}. \quad (3\text{-}30)$$

При расчете элементов цепи пульсирующего тока надо ясно отдавать себе отчет, какое именно значение его (максимальное, среднее или действующее) должно учитываться в данном случае.

Примеры. 1. Электролитический конденсатор рассчитан на максимальное рабочее напряжение 450 *в*. Допустимо ли его применить в цепи выпрямителя, где действует пульсирующее напряжение с постоянной составляющей в 400 *в* и переменной в 40 *в*?

Находим амплитуду переменной составляющей напряжения $U_m = 1{,}41\ U_\sim = 1{,}41 \cdot 40 = 56$ *в* и определяем по формуле (3-28) максимальное значение пульсирующего напряжения $U_{макс} = 400 + 56 = 456$ *в*. Из полученного ответа ясно, что для данной цепи необходим конденсатор на большее напряжение.

2. Требуется рассчитать диаметр провода для первичной обмотки выходного трансформатора, по которой проходит пульсирующий анодный ток лампы с составляющими $I_= = 40$ *ма* и $I_\sim = 30$ *ма*.

Поскольку диаметр провода выбирается в соответствии с допустимым для него нагревом, определяемым д е й с т в у ю щ и м значением проходящего через него тока, то необходимо по формуле (3-30) определить действующее значение пульсирующего тока

$$I = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50\ ма = 0{,}05\ а.$$

[1] Мы имеем в виду здесь электрическую цепь, не содержащую реактивных сопротивлений, причем форма тока в цепи совпадает с формой э. д. с. или напряжения на ее зажимах.

Так как для обмоток трансформаторов допускается предельная плотность тока $\delta = 2\ a/мм^2$, по формуле (3-16) находим

$$d = 1{,}13\sqrt{\frac{0{,}05}{2}} = 0{,}18\ мм.$$

7. СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Активное сопротивление в цепи переменного тока. Цепи, не содержащие катушек или конденсаторов, оказывают переменным токам низких частот практически такое же сопротивление, как и постоянному току, определяющееся одним активным сопротивлением проводов. Напряжение, падающее на активном сопротивлении при прохождении по нему переменного тока, в каждое мгновение равно произведению $i \cdot R$, где i — значение тока в это мгновение, т. е. напряжение изменяется в соответствии с изменением тока или, как говорят, находится в фазе с током (фиг. 3-10,*а*).

Все расчеты такой цепи переменного тока производят по формулам расчетов цепи постоянного тока, подставляя в них действующие значения переменных тока или напряжения. Хотя любая электрическая цепь обладает определенной индуктивностью и емкостью, при низких частотах ошибка при таком расчете без учета их влияния практического значения не имеет. Но при достаточно высоких частотах их уже нельзя не учитывать.

Индуктивность в цепи переменного тока. Индуктивности могут быть соединены между собой последовательно, параллельно и смешанно.

При последовательном соединении (фиг. 3-12, *а*) общая индуктивность L_o равна сумме отдельных индуктивностей (если между ними отсутствует взаимоиндукция), т. е.

$$L_o = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots \qquad (3\text{-}31а)$$

При параллельном соединении (фигура 3-12, *б*) общая индуктивность L_o находится из соотношения (при отсутствии взаимоиндукции)

$$\frac{1}{L_o} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots \qquad (3\text{-}31б)$$

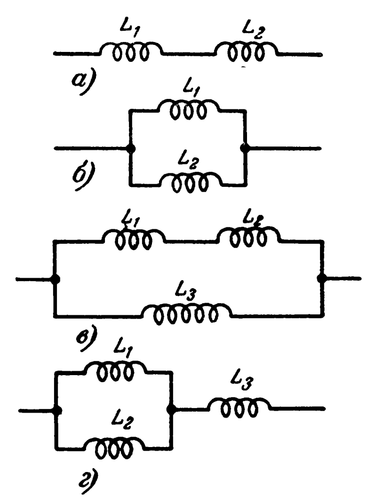
При смешанном соединении общая индуктивность L_o найдется в случае фиг. 3-12, *в* из соотношения

$$\frac{1}{L_o} = \frac{1}{L_1 + L_2} + \frac{1}{L_3}, \qquad (3\text{-}31в)$$

а в случае фиг. 3-12, *г* из соотношения

$$L_o = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} + L_3. \qquad (3\text{-}31г)$$

В то время как сопротивление катушки индуктивности постоянному току определяется только неизменным активным сопротивлением ее обмотки, переменному току она оказывает большее сопротивление, величина которого зависит от ее индуктивности и от частоты тока. Чем выше частота тока и чем больше индуктивность катушки, тем больше ее сопротивление переменному току.



Фиг. 3-12. Соединения индуктивностей.

Сопротивление, обусловливаемое индуктивностью катушки, или индуктивное сопротивление, вносимое в цепь переменного тока катушкой, обозначается символом X_L и равно в омах

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 6{,}28 f \cdot L, \qquad (3\text{-}32)$$

где f — частота тока, *гц*;
L — индуктивность катушки, *гн*;
$\pi = 3{,}14$.

Эта формула показывает, что чем выше частота тока f, тем больше индуктивное сопротивление той же катушки. При постоянном токе, частоту изменений которого можно принять равной нулю ($f = 0$), индуктивное сопротивление катушки также равно нулю. Действительно: $X_L = 6{,}28 \cdot 0 \cdot L = 0$.

Пример. Дроссель обладает индуктивностью 10 *гн*. Определить его индуктивное сопротивление при частоте тока 50 *гц*.

По формуле (3-32) находим $X_L = 6{,}28 \cdot 50 \cdot 10 = 3\,140$ *ом*.

Переменный ток, проходящий через катушку с активным сопротивлением, значительно меньшим индуктивного сопротивления, определяется по закону Ома, если вместо

активного сопротивления R подставить величину индуктивного сопротивления катушки X_L:

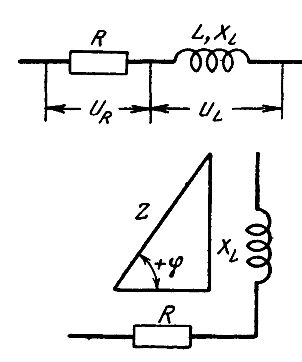
$$I = \frac{U}{X_L}. \qquad (3\text{-}33)$$

Пример. Определить ток в катушке с индуктивностью 25 *мгн* = 0,025 *гн* при частоте тока 100 *кгц* = = 100 000 *гц*, если приложенное к ней напряжение составляет 1 000 *в* (активным сопротивлением катушки можно пренебречь).

По формуле (3-32) определяем $X_L = 6{,}28 \cdot 100\,000 \times \times 0{,}025 = 15\,700$ *ом*. Тогда согласно формуле (3-33) ток

$$I = \frac{1\,000}{15\,700} = 0{,}064\ a = 64\ ма.$$

Из последнего примера видно, что если частота тока велика, то через катушку будет проходить очень малый ток, несмотря на высокое напряжение, прикладываемое к ней, и на ничтожно малое ее активное сопротивление; постоянный же ток при тех же условиях может исчисляться сотнями ампер.



Фиг. 3-13. Сопротивление реальной катушки.

Переменный ток, проходящий через катушку индуктивности, активным сопротивлением которой можно пренебречь ($R \ll X_L$), отстает по фазе от действующего на концах катушки напряжения на 1/4 периода, т. е. в индуктивном сопротивлении между током и напряжением имеет место сдвиг фаз в 90° (фиг. 3-10,*б*). Этот сдвиг фаз считается положительным.

Реальная катушка индуктивности в цепи переменного тока. Любая катушка индуктивности обладает кроме индуктивного сопротивления еще некоторым и активным сопротивлением. При постоянном токе активное сопротивление катушки определяется лишь одним сопротивлением проволоки, которой она намотана, но при переменном токе появляются потери энергии в изоляционных материалах и в магнитном сердечнике (если таковой имеется в катушке), которые могут быть учтены некоторым увеличением ее активного сопротивления. Кроме того, увеличивается сопротивление и самого провода за счет так называемого поверхностного эффекта[1]. В результате общее активное сопротивление катушки возрастает, и тем больше, чем выше частота тока.

[1] Чем выше частота тока, тем неравномернее распространяется по площади сечения провода ток: с увеличением частоты он стремится сосредоточиться ближе к поверхности провода; тем самым уменьшается действующая площадь сечения провода и его сопротивление возрастает.

Активное сопротивление R катушки можно считать включенным последовательно с индуктивным сопротивлением X_L (фиг. 3-13). Однако при этом сопротивления R и X_L нельзя складывать арифметически, ибо они имеют различный характер: R не вызывает, а X_L вызывает сдвиг фаз между током и падающими на них напряжениями U_R и U_L. Для нахождения действительного сопротивления необходимо складывать их геометрически. Для этого вычерчивается прямоугольный треугольник, катеты которого в определенном одинаковом масштабе выражают величины R и X_L (фиг. 3-13). Тогда гипотенуза этого треугольника будет выражать в том же масштабе полное сопротивление Z катушки.

На основании свойства прямоугольного треугольника находят Z в омах по формуле

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}. \qquad (3\text{-}34)$$

Если индуктивное сопротивление X_L неизвестно, но даны индуктивность L и частота тока f, то его следует определить по уже известной формуле (3-32).

Пример. Индуктивность дросселя сглаживающего фильтра выпрямителя $L = 10$ *гн*, а его активное сопротивление $R = 3\,000$ *ом*. Какое полное сопротивление оказывает он переменной составляющей выпрямленного тока, если частота пульсаций равна 100 *гц*?

Находим по формуле (3-32)

$$X_L = 6{,}28 \cdot 100 \cdot 10 = 6\,280\ ом.$$

Тогда по формуле (3-34)

$$Z = \sqrt{3\,000^2 + 6\,280^2} = 6\,950\ ом.$$

Коэффициент мощности и добротность катушки индуктивности. Для определения угла сдвига фаз φ в цепи с индуктивностью пользуются соотношением

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}. \qquad (3\text{-}35а)$$

Это соотношение вытекает из треугольника сопротивлений (фиг. 3-13), если углом φ считать угол, составленный гипотенузой Z и катетом R.

Вычислив $\cos\varphi$, величину угла сдвига фаз φ находят по тригонометрической таблице. Однако для практических расчетов большей частью приходится пользоваться не величиной угла φ, а именно значением его косинуса;

$\cos\varphi$, как мера проявления свойств индуктивности цепью LR, указывается для силовых установок, электродвигателей и других приборов, питающихся переменным током низкой частоты. В такого рода установках наличие сдвига фаз между током и напряжением нежелательно. Поэтому чем больше $\cos\varphi$, т. е. чем меньше сдвиг фаз φ, тем лучше. Отсюда вытекает стремление всячески уменьшить в таких цепях реактивное сопротивление, снизить величину индуктивности.

В катушках индуктивности, наоборот, вредны активные потери энергии и, конструируя их, стараются получить по возможности большое индуктивное и малое активное сопротивление. Поэтому мерой качества, добротности, катушек индуктивности считают отношение

$$Q_L = \frac{X_L}{R}, \tag{3-35б}$$

где Q_L — добротность катушки, измеряемая в отвлеченных единицах.

Из треугольника сопротивлений (фиг. 3-13) следует, что Q_L есть не что иное, как $\operatorname{tg}\varphi$, но хотя это и две равнозначные величины, термин „тангенс фи" не привился и заменен термином „добротность". Величину Q_L также называют множителем напряжения, потому что она равным образом определяет отношение напряжения U_L на индуктивном сопротивлении к потере напряжения на активном сопротивлении:

$$Q_L = \frac{I \cdot X_L}{I \cdot R} = \frac{U_L}{U_R}, \tag{3-35в}$$

так как ток I одинаков в обоих сопротивлениях.

Вообще говоря, добротность катушки изменяется при изменении частоты, так как X_L и R по-разному изменяются с частотой. Но в небольшом диапазоне рабочих частот, на который рассчитывается та или иная катушка индуктивности, активное и индуктивное сопротивления изменяются примерно одинаково, так что отношение их оказывается довольно постоянной величиной. Поэтому называя величину добротности, часто не указывают определенной частоты тока, считая, что эта величина добротности достаточно точно характеризует свойства катушки во всем ее рабочем диапазоне частот.

Емкость в цепи переменного тока. Емкости могут быть соединены между собой, как и индуктивности, последовательно, параллельно и смешанно.

При последовательном соединении (фиг. 3-14,*а*) емкости могут быть заменены одной общей емкостью C_o, величина которой определится из формулы

$$\frac{1}{C_o} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \tag{3-36а}$$

Для двух конденсаторов C_1 и C_2

$$C_o = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}. \tag{3-36б}$$

Для n одинаковых конденсаторов $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n$

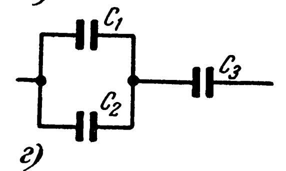
$$C_o = \frac{C_1}{n}. \tag{3-36в}$$

При параллельном соединении (фиг. 3-14,*б*) общая емкость

$$C_o = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \tag{3-36г}$$

Для n одинаковых конденсаторов $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n$

$$C_o = n \cdot C_1. \tag{3-36д}$$



Фиг. 3-14. Соединения конденсаторов.

При смешанном соединении для фиг. 3-14,*в*

$$C_o = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_3, \tag{3-36е}$$

а для фиг. 3-14,*г*

$$\frac{1}{C_o} = \frac{1}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_3}. \tag{3-36ж}$$

Емкостное сопротивление, оказываемое переменному току идеальным конденсатором (без активного сопротивления), обозначается символом X_C и равно в омах

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{6{,}28 f \cdot C}, \tag{3-37а}$$

где f — частота тока, *гц*;
C — емкость конденсатора, *ф*,

или

$$X_C = \frac{10^6}{6{,}28 f \cdot C}, \tag{3-37б}$$

где f — в *гц*;
C — в *мкф*.

При расчете высокочастотных цепей пользуются этим же видом формулы, но частоту f выражают в мегагерцах, а емкость C в пи-

кофарадах, тогда X_C остается попрежнему в омах.

Из формул (3-37) следует, что с повышением частоты емкостное сопротивление конденсатора уменьшается.

Примеры. 1. Какое сопротивление оказывает емкость в 16 *мкф* переменному току с частотой 50 *гц*?

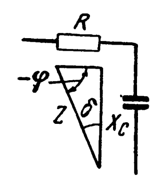
По формуле (3-37б) находим

$$X_C = \frac{10^6}{6{,}28 \cdot 50 \cdot 16} = 200 \textit{ ом}.$$

2. Определить емкостное сопротивление конденсатора в 200 *пф* при частоте 1,2 *мггц*.

По формуле (3-37б) получаем

$$X_C = \frac{10^6}{6{,}28 \cdot 1{,}2 \cdot \ 00} = 670 \textit{ ом}.$$



Фиг. 3-15. Сопротивление реального конденсатора.

В любом конденсаторе имеют место активные потери энергии. Но обычно в рабочем диапазоне частот эти потери настолько малы, что ими пренебрегают и считают сопротивление конденсатора чисто емкостным. Тогда ток, проходящий по цепи конденсатора, определится по закону Ома:

$$I = \frac{U}{X_C}. \tag{3-38}$$

Пример. Чему равен ток в цепи конденсатора емкостью 1 *мкф* при частоте 50 *гц* и напряжении 120 *в*?

Сначала по формуле (3-37б) определяем

$$X_C = \frac{10^6}{6{,}28 \cdot 50 \cdot 1} = 3\,200 \textit{ ом}$$

и затем по формуле (3-38) находим

$$I = \frac{120}{3\,200} = 0{,}038 \textit{ а} = 38 \textit{ ма}.$$

Ток в цепи конденсатора, активными потерями которого можно пренебречь, опережает напряжение на $^1/_4$ периода, иначе говоря, сдвиг фаз здесь составляет 90° и считается отрицательным, т. е. $\varphi = -90°$ (фиг. 3-10,*в*).

Реальный конденсатор в цепи переменного тока. Любой реальный конденсатор обладает активным сопротивлением. Если этим сопротивлением нельзя пренебречь по сравнению с его емкостным сопротивлением X_C, то его можно представить включенным последовательно с X_C, и тогда полное сопротивление Z определяется формулой

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}. \tag{3-39}$$

Эта формула является математическим выражением треугольника сопротивлений, изображенного на фиг. 3-15.

Угол, образуемый катетом R и гипотенузой Z треугольника сопротивлений, попрежнему представляет собой сдвиг φ между током и напряжением. Но потери в конденсаторах обычно невелики, а потому угол φ мало отличается от 90°. Поэтому для характеристики качества конденсаторов удобнее пользоваться не величиной угла φ, а отклонением его от 90°, т. е. $90° - \varphi$. Эту разность называют у г л о м п о т е р ь и обозначают буквой $\delta = 90° - \varphi$.

Из треугольника сопротивлений (фиг. 3-15) следует, что угол δ является острым углом, образуемым гипотенузой Z с катетом X_C, и определяется через тригонометрическую функцию

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{R}{X_C}. \tag{3-40а}$$

Величина, обратная $\operatorname{tg}\delta$, называется д о б р о т н о с т ь ю или к а ч е с т в о м конденсатора

$$Q_C = \frac{1}{\operatorname{tg}\delta} = \frac{X_C}{R}. \tag{3-40б}$$

8. ЗАКОНЫ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Расчет общего сопротивления цепи переменного тока по формулам, приведенным в § 3 настоящей главы, допустимо производить лишь в случаях, когда цепь содержит однородные сопротивления: либо одни активные (R), либо одни индуктивные (X_L), либо одни емкостные (X_C). Если же цепь переменного тока состоит из разнородных сопротивлений, то расчетные формулы изменяются. Мы остановимся лишь на способах расчета наиболее важных для радиосхем комбинаций сопротивлений.

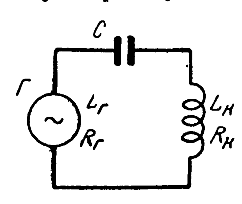
Последовательное соединение реактивных сопротивлений. Индуктивное X_L и емкостное X_C сопротивления имеют прямо противоположный характер: с повышением частоты X_L растет, а X_C уменьшается, сдвиг фаз в цепи X_L положительный, а в цепи X_C отрицательный, поэтому они компенсируют друг друга. Если в одной цепи переменного тока включены последовательно катушка индуктивности и конденсатор, то общее реактивное сопротивление этой цепи получается равным разности их сопротивлений, т. е.

$$X_o = X_L - X_C. \tag{3-41}$$

Если $X_o > 0$ (положительно), то цепь в целом ведет себя как индуктивность, если же $X_o < 0$ (отрицательно), то цепь проявляет свойства емкости. Величины X_L и X_C зависят

от частоты, поэтому сопротивление всей цепи будет зависеть от частоты и может оказаться на одних частотах (на более высоких) индуктивным, а на других (более низких) — емкостным.

Последовательное соединение активного и реактивного сопротивлений подчинено правилу прямоугольного треугольника. Частные случаи таких соединений нами уже были рассмотрены в связи с реальной катушкой индуктивности и реальным конденсатором. Если цепь содержит кроме активного сопротивления R и индуктивность, и емкость, то сначала по формуле (3-41) вычисляют общее реактивное сопротивление, а затем определяют полное сопротивление цепи по формуле



Фиг. 3-16. Последовательное включение R, L и C.

$$Z=\sqrt{R^2+X_o^2}. \quad (3\text{-}42а)$$

Объединив формулы (3-41) и (3-42а), получим обобщенную формулу для расчета последовательно соединенных сопротивлений в цепи переменного тока:

$$Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}. \quad (3\text{-}42б)$$

Если в цепи включено последовательно несколько активных (R_1, R_2, R_3, ...), несколько индуктивных (X_{L_1}, X_{L_2}, X_{L_3}, ...) и несколько емкостных (X_{C_1}, X_{C_2}, X_{C_3}) сопротивлений, то в формуле (3-42б) под R, X_L и X_C надо понимать сумму всех соответствующих сопротивлений.

Пример. Цепь, изображенная на фиг. 3-16, состоит из генератора переменного тока $Г$, обладающего внутренним сопротивлением $R_Г = 30$ *ом* и индуктивностью $L_Г = 0{,}1$ *гн*, конденсатора C емкостью 10 *мкф*, активными потерями которого можно пренебречь, и катушки $L_к$, обладающей индуктивностью 0,5 *гн* и активным сопротивлением $R_{Lк} = 60$ *ом*. Определить полное сопротивление этой цепи, если частота тока $f = 50$ *гц*.

Определяем сначала отдельные сопротивления цепи. По формуле (3-32) находим $X_{LГ} = 6{,}28 \cdot 50 \cdot 0{,}1 = 31{,}4$ *ом* и $X_{LГ} = 6{,}28 \cdot 50 \cdot 0{,}5 = 157$ *ом*. По формуле (3-37б) находим

$$X_C = \frac{10^6}{6{,}28 \cdot 50 \cdot 10} = 320 \text{ ом}.$$

Общее активное сопротивление $R = R_Г + R_{Lк} = 30 + 60 = 90$ *ом*, а общее индуктивное сопротивление

$$X_L = X_{LГ} + X_{Lк} = 31{,}4 + 157 = 188{,}4 \text{ ом}.$$

Тогда согласно формуле (3-42б) полное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{90^2 + (188{,}4 - 320)^2} = 159 \text{ ом}.$$

Общая формула закона Ома для неразветвленной цепи переменного тока имеет вид

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2+\left(6{,}28fL-\frac{1}{6{,}28fC}\right)^2}} \quad (3\text{-}43)$$

где I — ток в цепи, *ом*;
U — напряжение на концах в цепи, *в*;
R — активное сопротивление цепи, *ом*;
X_L — индуктивное сопротивление, *ом*;
X_C — емкостное сопротивление, *ом*;
f — частота, *гц*;
L — индуктивность, *гн*;
C — емкость, *ф*.

Если какое-нибудь из трех сопротивлений отсутствует в цепи или ничтожно мало по сравнению с другими, то соответствующий член выражения (3-43) нужно приравнять нулю.

Отметим, что величина R при переменном токе учитывает все активные сопротивления, эквивалентные потерям энергии в сердечниках, каркасах, диэлектриках, и зависит от поверхностного эффекта, а потому вообще она не равна сопротивлению этой же цепи при постоянном токе. Лишь при сравнительно низких частотах она имеет значение, мало отличающееся от сопротивления проводов цепи постоянному току. При высоких частотах его лучше определять измерениями.

Пример. Цепь тонкоррекции состоит из последовательно соединенных конденсатора $C = 10\,000$ *пф* и сопротивления $R = 10\,000$ *ом*. Найти наибольшую величину тока I в этой цепи (для выбора типа сопротивления), если наибольшее напряжение на концах цепи может достигать 200 *в*, а частоты рабочих токов заключены в пределах от 100 до 4 000 *гц*.

Наибольший ток будет при наивысшей частоте (4 000 *гц*), поскольку емкостное сопротивление уменьшается с повышением частоты. Следовательно, расчет надо вести для частоты $f = 4\,000$ *гц*. Емкость 10 000 *пф* $= 10^{-8}$ *ф*. Поскольку данная цепь не содержит индуктивности, в формуле (3-43) член „$6{,}28f \cdot L$“ отпадает, и тогда она принимает вид

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2+\left(-\frac{1}{628 \cdot fC}\right)^2}}.$$

Подставляя вместо букв их заданные значения, получим:

$$I = \frac{200}{\sqrt{10\,000^2+\left(-\frac{1}{6{,}28 \cdot 4\,000 \cdot 10^{-8}}\right)^2}} = 0{,}019 \text{ а} = 19 \text{ ма}.$$

Резонанс напряжений. Из приведенного на стр. 47 примера видно, что полное сопротивление (159 *ом*) цепи переменного тока может оказаться меньше сопротивления отдельных участков ее (например, меньше, чем сопротивление одного только конденсатора, которое равно в этом примере 320 *ом*).

Ток в цепи зависит от полного ее сопротивления

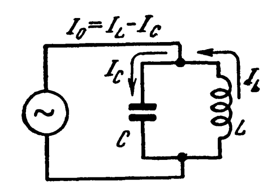
$$I=\frac{E}{Z}, \qquad (3\text{-}44а)$$

где E — э. д. с. источника тока.

Напряжения, падающие на отдельных участках, определяются этим током и сопротивлением соответствующих участков цепи:

$$U_1=I\cdot Z_1, \qquad (3\text{-}44б)$$

где U_1 — падение напряжения на участке цепи, обладающем сопротивлением Z_1.



Фиг. 3-17. Параллельное включение L и C.

В частности, на конденсаторе в нашем примере получается большее напряжение, чем э. д. с. источника. Это положение легко проверить. Предположим, что э. д. с. генератора равна 100 *в*. Тогда по формуле (3-41а) ток в цепи будет 0,63 *а*, а по формуле (3-44б) падение напряжения на конденсаторе 202 *в*, т. е. оно в 2 раза превышает величину э. д. с., питающей цепь. Такое явление возможно только при условии, что в цепи содержатся и катушка и конденсатор, так как их реактивные сопротивления в той или иной мере компенсируют друг друга и полное сопротивление цепи уменьшается, в связи с чем ток возрастает, а следовательно, возрастают и падения напряжения на всех участках цепи. Но эти падения напряжения на катушке и конденсаторе направлены навстречу другу другу (напряжение на катушке опережает ток на 90°, а напряжение на конденсаторе отстает от тока на 90°), поэтому результирующее напряжение на них всегда меньше э. д. с. источника, которая будет равна геометрической сумме этого результирующего и падения напряжения на активном сопротивлении цепи.

Наибольшие величины напряжения на емкости и индуктивности получаются при р е з о н а н с е н а п р я ж е н и й. Резонанс напряжений наступает, когда индуктивное сопротивление численно равняется емкостному, т. е. когда $X_L = X_C$ или, что то же самое,

$$6{,}28f\cdot L=\frac{1}{6{,}28f\cdot C}. \qquad (3\text{-}45а)$$

Простыми преобразованиями, которые читатель проделает сам, эта формула может быть приведена к виду

$$f^2=\frac{1}{6{,}28^2L\cdot C}. \qquad (3\text{-}45б)$$

Извлекая квадратный корень из обеих частей этого уравнения, получаем:

$$f=\frac{1}{6{,}28\sqrt{L\cdot C}}. \qquad (3\text{-}45в)$$

В любой цепи, содержащей индуктивность L и емкость C, может быть получен резонанс напряжений, если ее питать током такой частоты, которая вычисляется по формуле (3-45в).

Достигнуть резонанса можно и при заданной частоте соответствующим подбором параметров самой цепи. При заданных индуктивности L и частоте f подбирают емкость

$$C=\frac{1}{6{,}28^2f^2\cdot L}, \qquad (3\text{-}45г)$$

а при заданной емкости C и частоте f — индуктивность

$$L=\frac{1}{6{,}28^2f^2\cdot C}. \qquad (3\text{-}45д)$$

Все три способа достижения резонанса находят широкое применение на практике. Само явление резонанса напряжений играет очень важную роль в радиотехнике.

Пример. Катушки головного телефона обладают общей индуктивностью в 2 *мгн*. На какой частоте возникает резонанс, если телефон включен через конденсатор емкостью в 0,2 *мкф*?

По формуле (3-45в) находим

$$f=\frac{1}{6{,}28\sqrt{2\cdot 10^{-3}\cdot 2\cdot 10^{-7}}}=8\,000\ гц.$$

Резонанс токов. Если индуктивность и емкость включить параллельно друг другу и эту цепь подключить к зажимам генератора так, как показано на фиг. 3-17, то при равенстве их реактивных сопротивлений, т. е. при $X_L = X_C$, в этой цепи получается р е з о н а н с т о к о в.

Равенство сопротивлений X_L и X_C приводит к равенству токов, проходящих в обеих ветвях, но поскольку эти токи (в связи со сдвигом фаз) имеют в каждый момент противоположное направление, результирующий общий ток, потребляемый от источника, будет равен их разности. Если бы элементы рассматриваемой цепи не обладали активными сопротивлениями, то результирующий ток $I_0 = I_L - I_C$ равнялся бы нулю, т. е. от источника ток не потреблялся бы вовсе. Наличие

активных потерь не дает полной взаимной компенсации токов I_L и I_C, поэтому ток I_0 не равен нулю, хотя и может быть очень мал и значительно меньше токов в каждой из ветвей.

Таким образом, если резонанс напряжений характеризуется повышением напряжения на элементах цепи, то резонанс токов характеризуется увеличением токов в ветвях цепи. Но оба резонансных явления характерны тем, что сдвиг фаз между током и напряжением в общей цепи равен нулю, т. е. *при настройке в резонанс цепи ведут себя как чисто активные сопротивления, равные при резонансе напряжений активному сопротивлению R цепи, а при резонансе токов* $Z_{рез}=\frac{L}{CR}$, где R — в *ом*, L — в *гн* и C — в *ф*. При резонансе напряжений сопротивление контура получается наименьшим, а при резонансе токов — наибольшим из всех возможных его значений.

Так как условие возникновения резонанса токов совпадает с условием возникновения резонанса напряжений, то для достижения резонанса токов пригодны указанные выше три способа (при условии, что активные потери малы), вытекающие из уравнений (3-45в,г,д).

Мощность переменного тока. Выражение (3-14) мощности для постоянного тока находит применение и в цепях переменного тока. Вычисленная по нему мощность $P_к$ называется кажущейся и измеряется не в ваттах, а в вольт-амперах (*ва*):

$$P_к=UI. \qquad (3\text{-}46а)$$

Так как $U=I\cdot Z$ и $I=\frac{U}{Z}$, то выражение (3-46а) можно представить еще в следующих видах:

$$P_к=IZ\cdot I=I^2Z, \qquad (3\text{-}46б)$$

$$P_к=U\frac{U}{Z}=\frac{U^2}{Z}. \qquad (3\text{-}46в)$$

Пример. В цепи переменного тока с полным сопротивлением $Z=300$ *ом* проходит ток 0,5 *а*.

В этом случае по формуле (3-46б) кажущаяся мощность в цепи $P_к=0{,}5^2\cdot 300=75$ *ва*.

Кажущаяся мощность не характеризует действительной затраты энергии в цепи. Рассмотрим цепь, содержащую чистую (без потерь) индуктивность или емкость. В ней ток сдвинут по фазе от напряжения на $^1/_4$ периода. Из кривых фиг. 3-10,*б*, изображающих такой сдвиг, можно видеть, что в течение первой и третьей четвертей периода направление тока совпадает с направлением приложенного к цепи напряжения (кривые располагаются по одну и ту же сторону горизонтальной оси), а это означает, что цепь поглощает энергию от источника. Во вторую и четвертую четверти периода ток имеет направления, противоположные направлениям напряжения; это означает, что цепь возвращает энергию источнику. Если в одну четверть периода катушка или конденсатор как бы «заряжаются» энергией источника тока, то в следующую четверть периода они «разряжаются», т. е. сами становятся источниками энергии, а первоисточник — их нагрузочным сопротивлением. Именно поэтому индуктивное и емкостное сопротивления названы реактивными (реакция — противодействие).

Итак, реактивные сопротивления не вызывают потерь энергии, но количество энергии, которое они забирают при каждом «заряде», определяет режим их работы, и для указания свойств того или иного конденсатора или катушки иногда указывают максимально допустимую для них реактивную мощность. Реактивная мощность — это мощность, которой обменивается реактивное сопротивление с источником э. д. с. Реактивная мощность определяется формулами:

$$P_р=I^2\cdot X, \qquad (3\text{-}47а)$$

$$P_р=\frac{U^2}{X}, \qquad (3\text{-}47б)$$

где X — реактивное сопротивление (емкостное или индуктивное).

Поскольку реактивная мощность не представляет собой затраты энергии в цепи, ее тоже выражают в вольт-амперах.

Пример. Конденсатор $C=1\,000$ *пф* $=10^{-9}$ *ф* рассчитан на максимальную реактивную мощность $P_р=2$ *ква* $=2\,000$ *ва*. Допустимо ли его ставить под напряжение $U=500$ *в* при частоте $f=1$ *мгц* $=10^6$ *гц*?

Подставляя в уравнение (3-47б) вместо X выражение

$$X_C=\frac{1}{6{,}28f\cdot C}$$

получаем

$$P_р=U^2\cdot 6{,}28f\cdot C.$$

Подставляя затем вместо букв соответствующие их значения, найдем

$$P_р=500^2\cdot 6{,}28\cdot 10^6\cdot 10^{-9}=1\,570 \text{ ва}.$$

Так как 1 570 *ва* < 2 000 *ва*, то использовать указанный конденсатор в данной цепи можно.

Мощность в цепи переменного тока расходуется лишь в одном активном сопротивлении R. Поэтому для расчета ее можно применять формулу (3-14б), т. е. $P=I^2\cdot R$, если только величина R соответствует ак-

тивному сопротивлению цепи на рабочей частоте тока. Чаще же для определения активной мощности пользуются формулой

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi, \quad (3\text{-}48)$$

которая легко получается из формулы (3-14б). Рекомендуем читателю самому доказать равноценность этих формул.

Для приборов, вносящих сдвиг фаз, обычно указывается нормальное значение $\cos\varphi$, тем самым расчет активной мощности не вызывает затруднений. Для сетевых радиоприемников переменного тока $\cos\varphi$ обычно принимается в среднем 0,8.

Пример. Какую мощность поглощает радиоприемник из электросети 220 *в*, если амперметр *n* показывает ток 300 *ма* = 0,3 *а*?

По формуле (3-48) находим $P = 220 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}8 = 52{,}8$ *вт*.

Компенсация $\cos\varphi$. Реактивная мощность уменьшает возможность использования полностью действующей мощности электростанции, так как загружает провода сети и обмотки генераторов бесполезным реактивным током, приводит к увеличению потерь в проводах. Поэтому установки с плохим $\cos\varphi$ (малым его значением) являются злом, с которым нужно бороться. Подавляющее большинство установок вносит положительный сдвиг фаз (ток отстает от э. д. с. источника), т. е. обладает индуктивным сопротивлением (электродвигатели, за исключением синхронных, трансформаторы, дроссели, электромагниты и т. п.). Для компенсации фазового сдвига параллельно таким приборам включают конденсатор (вносящий отрицательный сдвиг фаз) и добиваются резонанса токов. Тогда сдвиг фаз в питающей (общей цепи) будет равен 0°. Если индуктивность нагрузки неизвестна, то конденсатор необходимой емкости проще всего подобрать опытным путем, добиваясь наименьших показаний амперметра, включенного в общую цепь. Емкость компенсирующего сдвиг фаз конденсатора может быть от единиц до сотен микрофарад (в зависимости от мощности установки).

Электроакустическая единица мощности. В связи с особенностью ощущения изменения громкости ухом человека в электроакустике введена особая единица для измерения и сравнения мощностей переменных токов — д е ц и б е л (*дб*). Децибелы составляют такую систему измерения, при которой изменение любой начальной мощности на одинаковое число единиц соответствует одинаковой слуховой оценке этого изменения. Если, например, изменить мощность на 1 *вт*, то слуховое ощущение будет различным в зависимости от первоначальной мощности: при начальной мощности в 1 *вт* увеличение ее до 2 *вт* будет заметным для слуха, но увеличение мощности с 50 до 51 *вт* не будет ощущаться ухом. Изменение же мощности, например, на 5 *дб* всегда будет вызывать одинаковое слуховое ощущение независимо от того, чему равнялась мощность до этого изменения.

В радиотехнике децибелы находят применение для сравнения мощностей и характеристики усиления или ослабления (затухания) мощности. В децибелах, например, указывают ослабление мешающего сигнала в сравнении с полезным при радиоприеме; в децибелах обычно приводится частотная характеристика усилителя низкой частоты или громкоговорителя. Положительным числом децибел (например, +15 *дб*) обозначается усиление, повышение мощности, а отрицательным (например, —40 *дб*) — ослабление, понижение мощности.

Когда изменение мощности указывается в децибелах, то эта величина наглядно показывает, как оно воспринимается ухом. Изменение мощности на 1 *дб* соответствует минимальному изменению громкости, которое способно заметить наше ухо; двукратное увеличение громкости соответствует повышению мощности в децибелах на 6 *дб* (в ваттах это соответствует четырехкратному увеличению мощности); заглушение одного звука другим имеет место, если их мощности отличаются, по крайней мере, на 35—40 *дб*. Полный диапазон громкостей, воспринимаемых ухом (от порога слышимости до болевого предела), составляет 130 *дб*.

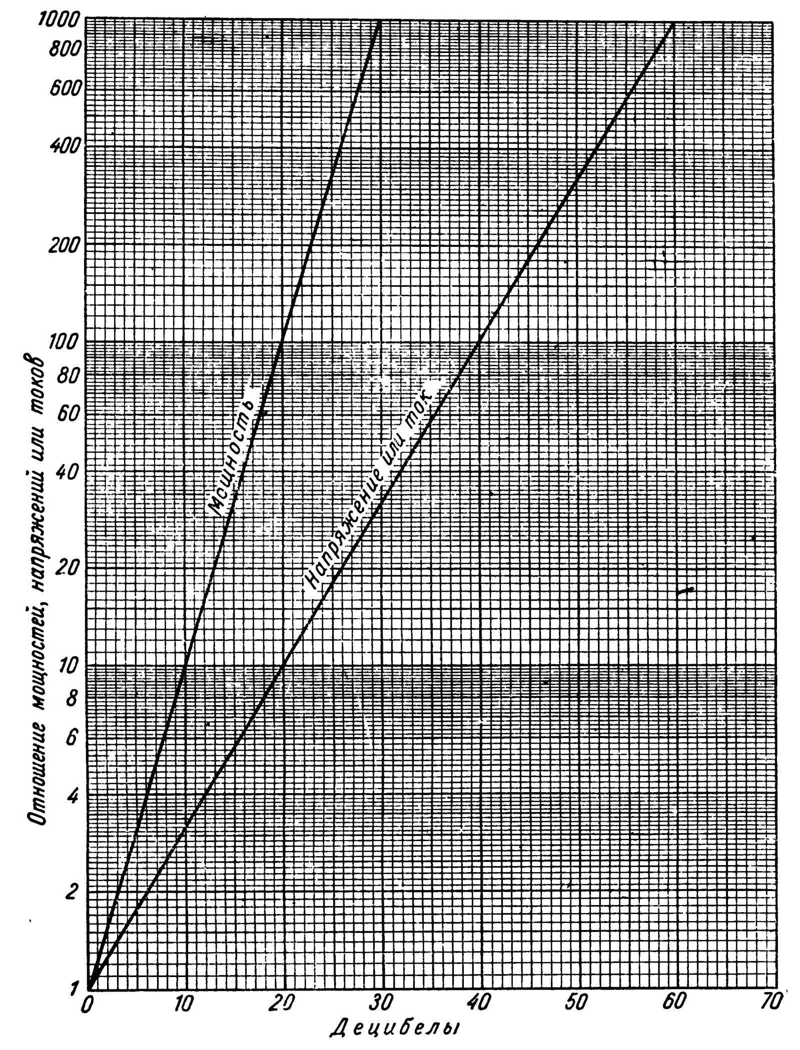
В практике радиомастера при снятии характеристик или определении параметров радиоприемников, усилителей и электроакустических приборов необходимо уметь сравнивать мощности в децибелах, т. е. определять разность их уровней. Для этого прежде всего находят отношение большей из сравниваемых мощностей к меньшей (разумеется, обе мощности должны быть выражены в одинаковых единицах) и по этому отношению, пользуясь графиком фиг. 3-18, находят искомое число децибел. Сообразно со смыслом задачи впереди числа децибел может ставиться знак + или —.

Пример. Мощность, развиваемая усилительной установкой при частоте 70 *гц*, составляет $P_1 = 20$ *вт*, а при частоте 1 000 *гц* она повышается до $P_2 = 50$ *вт*. Определить разность уровней в децибелах.

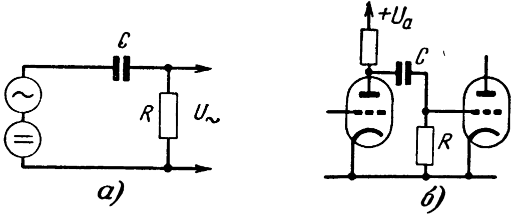
Определяем отношение мощностей $\frac{P_2}{P_1} = \frac{50}{20} = 2{,}5$.

По графику фиг. 3-18 находим, что отношению мощностей 2,5 соответствует разность уровней в 4 *дб*.

Если сравниваемые мощности подаются в цепи с одинаковым сопротивлением или действуют в одной и той же цепи с неизменным сопротивлением, то вместо отношения мощностей можно брать квадрат отношения напряжений или токов, так как $\frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2=\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2$.



Фиг. 3-18. График перевода отношений напряжений, токов и мощностей в децибелы.



Фиг. 3-19. Выделение переменной составляющей из пульсирующего напряжения.

а — принципиальная схема; б — пример применения

Для упрощения вычислений на графике фиг. 3-18 нанесена специальная линия, служащая для нахождения числа децибел непосредственно по отношению напряжений или токов, а не по квадрату этих отношений.

Примеры. 1. При равной мощности на выходе сигнал основного канала супергетеродинного приемника развивает на выходе напряжение $U_1 = 4$ *в*, а сигнал зеркального канала $U_2 = 20$ *мв* $= 0{,}02$ *в*. Определить ослабление сигнала по зеркальному каналу в децибелах.

Определяем отношение $\frac{U_1}{U_2}=\frac{4}{0{,}02}=200$.

На графике фиг. 3-18 отношению напряжений 200 соответствует разность уровней в 46 *дб*. Так как при зеркальном приеме выходное напряжение ниже, чем при приеме по основному каналу, то происходит понижение уровня и мы должны снабдить ответ знаком минус, т. е.— 46 *дб*.

2. Дальняя трансляционная линия вносит затухание — 18 *дб*. Какова мощность P_2 в ваттах на конце линии, если в линию подается мощность $P_1 = 2$ *вт*?

По числу децибел (18) находим из графика (фиг. 3-18) отношение мощностей $\frac{P_1}{P_2} = 63$, откуда $P_2 = \frac{P_1}{63} = \frac{2}{63} = 0{,}032$ *вт*.

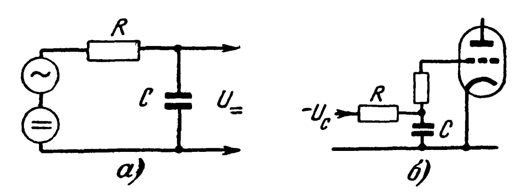
9. РАЗДЕЛЕНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТОКОВ

Цепи *RC*. Очень широкое применение в радиоаппаратуре находит сочетание активного сопротивления с конденсатором. Эти цепи, называемые ячейками *RC*, позволяют осуществлять разделение постоянного и переменного тока, а в некоторых случаях и разделение переменных токов различных частот.

Выделение переменной составляющей из пульсирующего напряжения осуществляется по схеме фиг. 3-19,*а*. Так как сопротивление изоляции конденсатора практически несравнимо больше сопротивления *R*, постоянная составляющая напряжения полностью падает на конденсаторе. Переменная составляющая напряжения, наоборот, будет почти полностью выделяться на сопротивлении *R*, если выбрать емкость конденсатора *C* так, чтобы его емкостное сопротивление при данной частоте тока было, по крайней мере, в 10 раз меньше сопротивления *R*, т. е. при $X_C \ll R$. Типичным примером такого применения ячейки является реостатно-емкостная связь между каскадами усилителя (фиг. 3-19,*б*). Постоянное напряжение U_a, питающее анодную цепь предыдущей

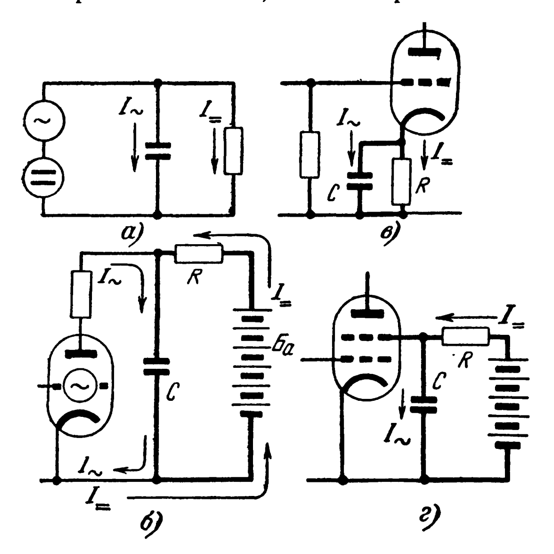
лампы, благодаря наличию конденсатора C не попадает на сеточное сопротивление R следующей лампы, переменное же напряжение с анода предыдущей лампы полностью передается на сопротивление R и прикладывается к сетке следующей лампы.

Выделение постоянной составляющей из пульсирующего напряжения (сглаживание



Фиг. 3-20. Выделение постоянной составляющей из пульсирующего напряжения.
а — принципиальная схема; *б* — пример применения.

пульсирующего напряжения) осуществляется той же самой цепью RC, только конденсатор и сопротивление меняются между собой местами (фиг. 3-20,*а*). Если попрежнему $X_C \ll R$, то переменное напряжение выделится на активном сопротивлении R, а на присоединенном



Фиг. 3-21. Разделение переменного и постоянного токов.
а — принципиальная схема; *б*, *в* и *г* — примеры применения.

к конденсатору C нагрузочном сопротивлении будет лишь постоянное напряжение. Примером такого применения ячейки RC служит подача на сетку смещения, АРУ и т. п. (фиг. 3-20,*б*).

Разделение переменного и постоянного токов. Для разделения путей переменному и постоянному токам (фиг. 3-21,*а*) служит параллельное соединение сопротивления и конденсатора. Если попрежнему $X_C \ll R$, то практически постоянный ток проходит только через ветвь с активным сопротивлением; переменный же ток замкнется, помимо сопротивления, через параллельно присоединенный к нему конденсатор. Подобного рода цепями являются так называемые **развязывающие фильтры** (фиг. 3-21,*б*), преграждающие доступ усиливаемым переменным токам в общий источник анодного питания (источником переменных токов является лампа), цепи получения сеточного смещения (фиг. 3-21,*в*), цепи питания экранных сеток ламп (фиг. 3-21,*г*) и др. Сопротивление смещения (фиг. 3-21,*в*) блокируется конденсатором, чтобы предотвратить выделение переменного напряжения из-за прохождения по сопротивлению R переменной составляющей анодного тока; этой же цели служит конденсатор, соединяющий экранную сетку лампы с катодом (фиг. 3-21,*г*).

Срезание и разделение частот. Рассмотренные три типа соединения R и C пригодны не только для разделения переменного и постоянного напряжений или токов, но и для изменения соотношения между переменными напряжениями различных частот.

Предположим, что в схеме фиг. 3-19,*б* применен конденсатор C такой емкости, что для более высоких частот $X_C \ll R$, но при более низких частотах X_C окажется соизмеримым или даже больше R. Тогда, очевидно, при более высоких частотах переменное напряжение от анода первой лампы на сетку второй передается полностью, а при более низких — лишь частично, так как значительная часть напряжения упадет на емкостном сопротивлении конденсатора. В каскадах низкой частоты это нежелательно, ибо оно вызывает уменьшение усиления наиболее низких звуков. Уменьшение емкости конденсатора в цепи анодной развязки (фиг. 3-21,*б*) приводит к тому, что наиболее низкочастотные из усиливаемых лампой токов поступают в цепь питания, причем сопротивление анодной нагрузки для них увеличивается (за счет сопротивления развязки R) и усиление их возрастает. Но при этом усиливаемые токи попадают в общий для ряда ламп источник питания и возникает опасность самовозбуждения усилителя. Чтобы избежать этих неприятных явлений при расчете ячеек RC, предназначенных только для разделения постоянной и переменной составляющих, расчет емкости конденсатора надо вести на самую низшую рабочую частоту.

Свойство ячейки RC по-разному пропускать токи различных частот используют, например, в цепях тонкоррекции. Для передачи наиболее высоких и срезания наиболее низких частот применяют схему фиг. 3-19, а для передачи

наиболее низких и срезания высоких частот — схему фиг. 3-20. Эти схемы можно объединить (фиг. 3-22) и получить одновременно разделение верхних и нижних частот.

Рассмотренные выше схемы не предусматривают резкого разделения частот, в особенности если эти частоты не сильно отличаются друг от друга. Для достижения более резкого разделения частот можно включить несколько соответствующих ячеек RC последовательно. Если одна ячейка уменьшает напряжение данной частоты, например, в 5 раз, то два таких звена, включенные одно за другим, уменьшают напряжения этой частоты уже в $5 \cdot 5 = 5^2 = 25$ раз, три — в $5^3 = 125$ раз и т. д.

Расчет цепи RC. Основной величиной, определяющей свойства цепи RC, является постоянная времени

$$\tau = R \cdot C, \tag{3-49}$$

где τ — в *сек.*; R — в *ом*; C — в *ф*.

Физически постоянная времени означает время, в течение которого напряжение на конденсаторе в цепи RC достигает при его заряде 63% своего максимального значения, равного э. д. с. источника, включенного на зажимы цепи RC. Постоянная времени показывает также, через какое время при разряде конденсатора напряжение на нем падает до 37% от своего первоначального значения.

Каковы бы ни были значения R и C, но если произведение их остается одним и тем же, то и поведение цепи, в которую включена эта ячейка RC, останется то же одним и тем же.

Пример. Анодная развязывающая цепь состояла из сопротивления $R = 50\,000$ *ом* и конденсатора $C = 0{,}1$ *мкф* $= 10^{-7}$ *ф* (см. фиг. 3-21,*б*). При регулировании режима лампы пришлось уменьшить с целью повышения ее анодного напряжения величину сопротивления R до 20 000 *ом*. Как надо поступить с конденсатором, чтобы свойства развязывающей цепи остались прежними?

Для сохранения свойств развязывающей цепи необходимо при новом сопротивлении R получить прежнее значение постоянной времени, т. е. должно иметь место равенство $R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$. Подставляя известные величины, получаем $50\,000 \cdot 10^{-7} = 20\,000\, C_2$, откуда

$$C_2 = \frac{50\,000 \cdot 10^{-7}}{20\,000} = 2{,}5 \cdot 10^{-7}\ ф = 0{,}25\ мкф.$$

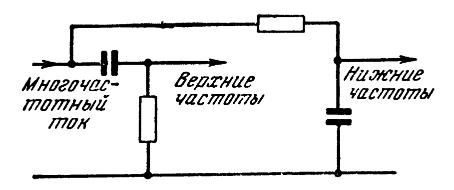
Как было уже показано, условием нормальной работы ячейки RC является соблюдение неравенства $X_C \ll R$. В общем виде можно задать

$$X_C = \frac{R}{a}, \tag{3-50}$$

где a в зависимости от места включения ячейки может быть выбрано в пределах от 5 до 100 (большей частью $a = 10 \div 20$). Тогда, произвольно выбрав величину сопротивления R, определяют емкость конденсатора ячейки

$$C = \frac{a}{6{,}28 f_н \cdot R}, \tag{3-51а}$$

где C — в *ф*, $f_н$ (низшая частота переменного тока в данной цепи) — в *гц*; R — в *ом*.



Фиг. 3-22. Объединение схем фиг. 3-19 и 3-20.

В микрофарадах та же емкость

$$C = \frac{10^6 a}{6{,}28 f_н \cdot R}. \tag{3-51б}$$

Пример. Рассчитать ячейку RC в цепи экранной сетки лампы низкочастотного каскада (фиг. 3-21,*г*), если известно, что напряжение анодного источника $U = 80$ *в*, напряжение на экранной сетке лампы должно быть $U_э = 30$ *в*, постоянный ток в цепи экранной сетки $I_э = 0{,}5$ *ма* $= 0{,}0005$ *а*, низшая частота $f_н = 100$ *гц* и коэффициент a для этой цепи принят равным 10.

На сопротивлении R должно падать напряжение $U_R = U - U_э = 80 - 30 = 50$ *в* и величина его по закону Ома должна быть

$$R = \frac{U_R}{I_э} = \frac{50}{0{,}0005} = 10^5\ ом.$$

Тогда по формуле (3-51б) емкость конденсатора

$$C = \frac{10^6 a}{6{,}28 f_н \cdot R} = \frac{10^6 \cdot 10}{6{,}28 \cdot 100 \cdot 10^5} = 0{,}16\ мкф.$$

Если ячейка RC применяется для сглаживания пульсации переменного напряжения, то коэффициент a показывает, во сколько раз уменьшается пульсация. Если для сглаживания пульсации применена схема фиг. 3-20, то, обозначив напряжение переменной составляющей на входе ячейки через U, а на выходе ее через U_C, получим:

$$U_C = \frac{U}{a}. \tag{3-52}$$

Расчет ведется по формулам (3-51) и (3-52), которые можно совместить и привести к виду, позволяющему определить остаток пульсации на конденсаторе без определения величины коэффициента a:

$$U_C = \frac{U}{6{,}28 f \cdot \tau}, \tag{3-53}$$

где f — частота напряжения U, а τ — постоянная времени ячейки.

Пример. В цепи сеточного смещения (фиг. 3-20,*б*) действует пульсирующее напряжение U_C, переменная составляющая которого достигает величины 0,2 *в*. Требуется сгладить пульсацию до 4 *мв* при сопротивлении R не больше 2 *мгом*. Какой емкости нужен конденсатор, если низшая частота пульсации равна 50 *гц*?

Так как $U_C = 4$ *мв* $= 4\cdot10^{-3}$ *в* и $U = 0{,}2$ *в*, то, подставляя в формулу (3-53) известные величины, получим

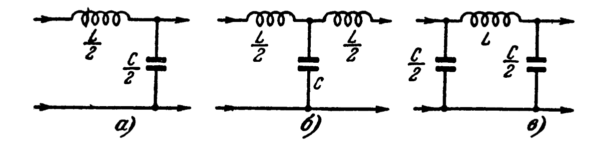
$$4\cdot10^{-3} = \frac{0{,}2}{6{,}28\cdot50\tau},$$

откуда

$$\tau = \frac{0{,}2}{6{,}28\cdot50\cdot4\cdot10^{-3}} \approx 0{,}16 \text{ сек.}$$

Тогда из формулы (3-49) $\tau = RC$ находим емкость

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{0{,}16}{2\cdot10^6} = 0{,}08\cdot10^{-6}\ \text{ф} = 0{,}08\ \text{мкф}.$$



Фиг. 3-23. Фильтры нижних частот.
а — Г-образный; *б* — Т-образный; *в* — П-образный.

Когда конденсатор присоединяется параллельно активному сопротивлению (фиг. 3-22,*а*) и $a \gg 1$, остаток переменного напряжения на концах ячейки можно считать равным падению напряжения на конденсаторе $U_C \approx I\cdot X_C$.

Пример. Сопротивление сеточного смещения, включенное в цепь катода лампы 6П3С, должно иметь 200 *ом*. Переменная составляющая анодного тока лампы $I = 50$ *ма* $= 0{,}05$ *а* и низшая частота $f = 70$ *гц*. На катодном сопротивлении допустимо выделение напряжения этой частоты не более $U_C = 2$ *в*. Определить необходимую емкость блокировочного конденсатора C (фиг. 3-21, *в*).

По формуле $U_C \approx I\cdot X_C$ определяем необходимую величину емкостного сопротивления

$$X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{2}{0{,}05} = 40\ \text{ом}.$$

Из формулы

$$X_C = \frac{1}{6{,}28f\cdot C}$$

находим

$$C = \frac{1}{6{,}28f\cdot X_C} = \frac{1}{6{,}28\cdot70\cdot40} = 0{,}000057\text{ф} = 57\ \text{мкф}.$$

Фильтры типа *LC*. Фильтры служат для пропускания одних частот и заграждения токов других частот. С этой точки зрения к фильтрам можно отнести и рассмотренные выше цепи *RC*. Но более эффективными являются фильтры типа *LC*, которые представляют комбинации катушек индуктивности и конденсаторов. Фильтр включается в цепь между источником тока и нагрузочным сопротивлением. Приводимые ниже формулы для расчета фильтров типа *LC* выведены в предположении, что сопротивление источника и сопротивление нагрузки являются чисто активными и равны друг другу (соблюдение этой предпосылки является одним из условий эффективной работы описываемых ниже фильтров).

Фильтры нижних частот. На фиг. 3-23,*а* изображена такая же схема, как и на фиг. 3-20,*а*, только вместо активного сопротивления R включена индуктивность. Назначение фильтра фиг. 3-23,*а* то же, что и ячейки фиг. 3-20,*а* (пропускать нижние частоты и постоянный ток, а верхние частоты срезать), но замена активного сопротивления индуктивным значительно улучшает фильтрующие свойства цепи. Действительно, последовательное активное сопротивление в ячейке R на всех частотах действует одинаково и срезанию верхних частот способствует только конденсатор C, который предоставляет им путь помимо нагрузочного сопротивления. В фильтре же *LC* срезанию верхних частот способствует и катушка L, индуктивное сопротивление которой с повышением частоты возрастает и преграждает доступ верхних частот к нагрузочному сопротивлению.

Лучшими фильтрующими свойствами обладают Т-образный (фиг. 3-23,*б*) и П-образный (фиг. 3-23,*в*) фильтры нижних частот. Если требуется очень резко отделить верхние частоты от нижних или когда должны быть хорошо срезаны частоты, близкие к передаваемым, применяют многозвенные фильтры, составленные последовательным включением нескольких Т- или П-образных звеньев.

Расчет фильтров нижних частот производится по заданным величинам R — активного нагрузочного сопротивления (оно же равно сопротивлению источника тока) и f_c — частота среза (наиболее высокая из нижних частот, подлежащих передаче к нагрузочному сопротивлению). По этим величинам определяют значения L и C:

$$L\,(\text{гн}) = \frac{R}{3{,}14f_c}; \quad C\,(\text{ф}) = \frac{1}{3{,}14f_c\cdot R}, \qquad (3\text{-}54)$$

где L — в *гн*; C — в *ф*; R — в *ом* и f_c — в *гц*.

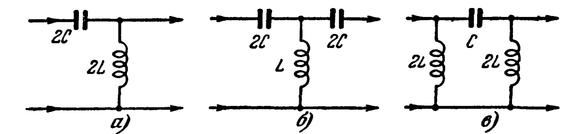
Фильтры верхних частот (фиг. 3-24,*а*, *б*, *в*) служат для пропускания всех частот выше частоты среза f_c и поглощения более низких частот. Их схемы аналогичны схемам фильтров нижних частот, но индуктивности и

емкости взаимно меняются местами. Расчет фильтров верхних частот производится по формулам

$$L(гн) = \frac{R}{12{,}6f_c}; \quad C(ф) = \frac{1}{12{,}6f_c \cdot R}. \qquad (3\text{-}55)$$

Полосовые фильтры применяются в тех случаях, когда требуется передать полосу частот в пределах от f_1 до f_2, а частоты, лежащие ниже и выше этой полосы, необходимо срезать.

Простейший полосовой фильтр представляет собой цепь из последовательно соединенных емкости C и индуктивности L, включенную



Фиг. 3-24. Фильтры верхних частот.
а — Г-образный; *б* — Т-образный; *в* — П-образный.

в один из проводов между источником тока и нагрузочным сопротивлением $R_н$ (фиг. 3-25,*а*). Известно, что такая цепь может быть настроена в резонанс напряжений, при котором полное сопротивление ее уменьшается до величины значения активного сопротивления R. Для частот более низких и более высоких, чем резонансная частота, полное сопротивление цепи возрастает.

Указанная схема дает удовлетворительные результаты, если нужно передать узкую полосу частот, при этом L и C должны быть рассчитаны на резонансную частоту f_0, равную средней геометрической между частотами среза f_1 и f_2:

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}. \qquad (3\text{-}56)$$

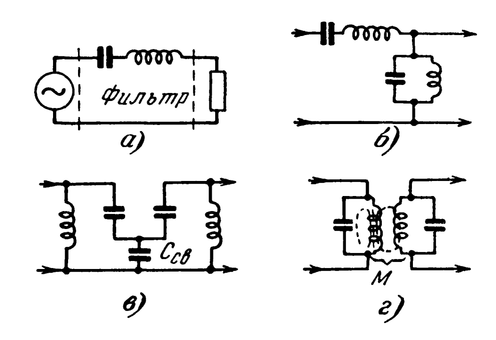
Но при необходимости пропустить относительно широкую полосу часто применяют более сложные полосовые фильтры, включающие в себя также параллельно соединенные L и C (фиг. 3-25,*б*). Добавление параллельных ветвей из LC обеспечивает более резкое срезание частот, граничащих с частотой среза. Еще лучшие результаты дает включение последовательно нескольких таких звеньев.

Расчет таких фильтров довольно сложен, и методы его разнообразны в зависимости от схемы фильтра. Следует только иметь в виду, что так называемая средняя частота полосы пропускания f_0 лежит не посередине ее, а ближе к нижней частоте среза f_1 и сдвиг ее от арифметической середины тем больше, чем шире полоса пропускания.

Полосовыми фильтрами являются и связанные резонансные цепи (фиг. 3-25,*в* и *г*), о которых более подробно говорится ниже (стр. 62).

Заграждающие фильтры имеют свойства, противоположные полосовым фильтрам; они преграждают путь токам определенной полосы частот от f_1 до f_2, а токи частот ниже и выше этой полосы пропускают свободно.

Простейший тип заграждающего фильтра образуется при введении в один из проводов цепи параллельно включенных LC (фиг. 3-26,*а*).



Фиг. 3-25. Полосовые фильтры.
а — простейший; *б* — Г-образный; *в* и *г* — фильтры, образованные связанными цепями.

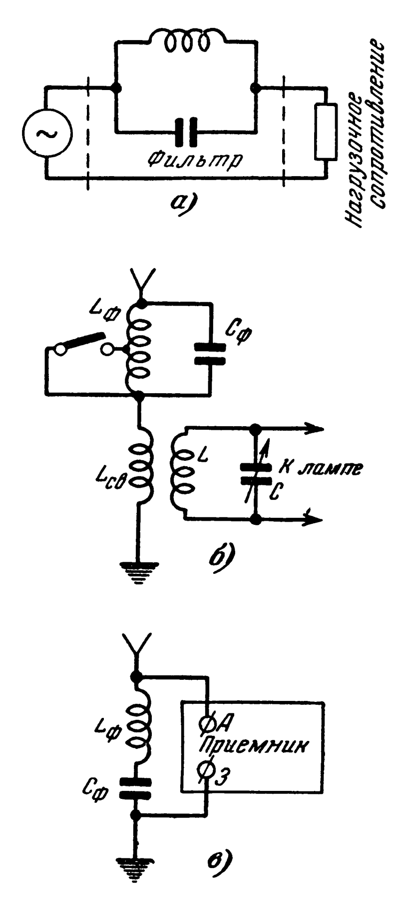
Параллельный контур LC при определенной частоте создает резонанс токов, при котором полное сопротивление его сильно возрастает и связь между источником тока и нагрузочным сопротивлением ослабляется. Резонансная частота f_0 должна выбираться здесь так же, как у полосовых фильтров, равной $f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$, где f_1 и f_2 — нижняя и верхняя частоты среза.

Такой заграждающий фильтр (фильтр-пробка) часто включается в цепь антенны радиоприемника для подавления мешающей радиостанции, на частоту которой его и настраивают (фиг. 3-26,*б*). Для этой же цели применяют иногда другой вид простейшего заградительного фильтра (фиг. 3-26,*в*). Здесь используется явление резонанса напряжений, при котором полное сопротивление фильтра резко уменьшается и предоставляет путь токам резонансной частоты помимо приемника.

Более крутые срезы граничащих частот дают сочетания параллельных и последовательных цепей LC, составленные в виде многозвенного заграждающего фильтра.

Для всех перечисленных электрических фильтров, использующих резонансные свойства цепей LC, справедливо следующее положение: *чем выше добротность* Q_L *катушки*

и чем меньше угол потерь δ конденсаторов, тем круче срезание частот на границах пропускания и заграждения. В индуктивно-емкостных фильтрах, содержащих две и более

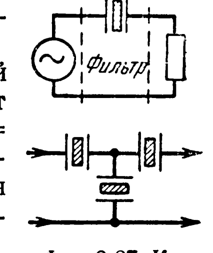


Фиг. 3-26. Заграждающие фильтры.

а — простейший заграждающий фильтр; *б* —фильтр-пробка, включенный в антенну; *в* — простейший заграждающий фильтр из последовательно включенных *L* и *C*.

катушки индуктивности, недопустимо наличие индуктивной связи между катушками различных звеньев (исключая, конечно, полосовые фильтры, основанные на индуктивной связи между звеньями). Для предотвращения паразитной индуктивной связи каждое звено фильтра тщательно экранируется.

Кварцевый фильтр (фиг. 3-27). Вырезанная по особому правилу пластинка из кристалла кварца проявляет свойства электрической цепи, состоящей из последовательно включенных емкости *C*, индуктивности *L* и сопротивления *R*. Если такую пластинку поместить между обкладками конденсатора вместо диэлектрика, то в электрической цепи такой кварц создает на определенной, свойственной данной пластинке частоте эффект резонанса напряжений, резонансная частота которого определяется геометрическими размерами пластинки. Кварцевые пластины изготовляют на частоты от нескольких десятков килогерц до 20—30 *мггц*; на большие частоты приготовление кварцев затруднено из-за хрупкости необходимых для этого чрезвычайно тонких пластинок. Для частот выше 25—30 *мггц* (вплоть до 100—150 *мггц*) вырезаются аналогичные пластины из кристаллов турмалина.



Фиг. 3-27. Кварцевые фильтры.

Добротность резонансной цепи, которую представляет кварц, очень высока ($Q =$ 1 000 ÷ 1 500 и больше). Это позволяет применять кварцы для высококачественных узкополосных фильтров.

Трансформатор. Трансформатором называется аппарат, предназначенный для преобразования электрической энергии переменного тока одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения. Обычно он состоит из замкнутого сердечника, набранного из листов электротехнической стали и двух (а иногда и больше) обмоток, намотанных на этот сердечник. Обмотки изолируются друг от друга и от сердечника, но пронизываются общим магнитным потоком. Такие трансформаторы применяются преимущественно в цепях токов низкой частоты.

Применяются трансформаторы и в цепях токов высокой частоты, но они или не имеют сердечников, или же снабжаются специальными сердечниками из ферромагнетиков. Действие трансформаторов основано на явлении взаимной индукции.

Условное обозначение и внешний вид трансформатора низкой частоты показаны на фиг. 3-28.

Разделение токов. Взаимная индукция, положенная в основу работы трансформатора, имеет место лишь при переменном токе. Поэтому трансформаторы могут применяться при пульсирующем токе для выделения из него переменной составляющей (фиг. 3-29), например для связи между каскадами низкой частоты.

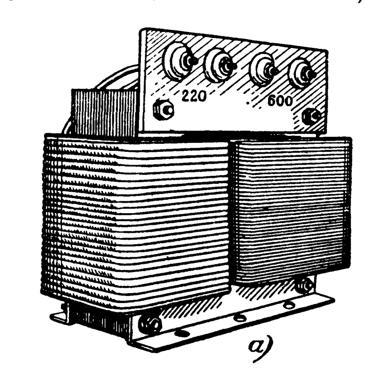
Необходимо заметить, что трансформаторы (а также дроссели), снабженные стальным сердечником, при наличии постоянного тока в одной из его обмоток могут нуждаться в устройстве воздушного зазора в сердечнике. Зазор необходим, если $L \cdot I^2 > (0{,}03 \div 0{,}05)$, где L — индуктивность (в генри) обмотки, по которой проходит постоянный ток I (в

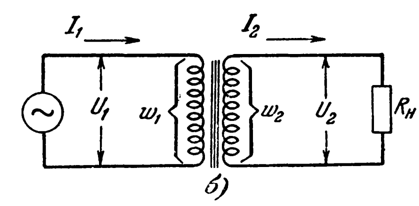
амперах). Толщина зазора (в миллиметрах) должна равняться

$$\delta = \frac{I \cdot w}{1\,400}, \qquad (3\text{-}57)$$

где w — число витков обмотки с постоянным током.

Возникающая благодаря взаимной индукции э. д. с. зависит от частоты тока, его величины и величины взаимной индукции: чем больше эти величины, тем больше эта индуктируемая (наводимая) э. д. с. Поэтому высокочастотный трансформатор, обмотки которого обладают небольшой взаимной индуктивностью, отделит не только постоянную составляющую, но и низкочастотный ток, не способный индуцировать во вторичной обмотке заметную э. д. с. при этом значении взаимной индуктивности.





Фиг. 3-28. Внешний вид (*а*) одного из типов трансформатора и его схема (*б*).

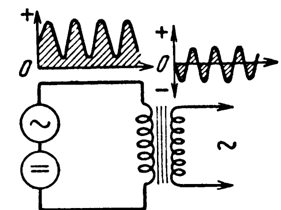
Преобразование напряжения и тока В трансформаторах со стальными сердечниками практически все витки каждой обмотки пронизываются одним и тем же количеством силовых линий (рассеяние магнитного потока невелико). Поэтому в каждом витке трансформатора индуктируется одинаковая э. д. с., и напряжения на концах обмоток пропорциональны числам витков в них:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = n, \qquad (3\text{-}58а)$$

где n — отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной — называют коэффициентом трансформации. Если n меньше единицы ($w_1 < w_2$), трансформатор называется повышающим, так как вторичное напряжение больше первичного. Если же n больше единицы ($w_1 > w_2$), трансформатор понижает напряжение и называется понижающим.

Для трансформатора со стальным сердечником можно практически принять, что мощности в его первичной и вторичной цепях равны, т. е. $P_1 = P_2$ или $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$. Отсюда следует, что во сколько раз повышается трансформатором напряжение, во столько раз понижается ток; понижающий напряжение трансформатор, наоборот, повышает ток. Таким образом, между первичным и вторичным токами имеет место зависимость

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{n}. \qquad (3\text{-}58б)$$



Фиг. 3-29. Выделение трансформатором переменной составляющей из пульсирующего тока.

Формулы (3-58а) и (3-58б) представляют основные соотношения в низкочастотных трансформаторах. Чтобы определить необходимое число витков во вторичной обмотке, если задан коэффициент трансформации и известно число витков в первичной, формулу (3-58а) преобразуют к виду

$$w_2 = \frac{w_1}{n}. \qquad (3\text{-}58в)$$

Вторичное напряжение трансформатора с известным коэффициентом трансформации при подаче к первичной обмотке напряжения U_1 определяют по формуле

$$U_2 = \frac{U_1}{n}. \qquad (3\text{-}59а)$$

Для определения тока в первичной цепи при нагрузке вторичной обмотки током I_2 пользуются формулой

$$I_1 = \frac{I_2}{n}. \qquad (3\text{-}59б)$$

Пример. Междуламповый трансформатор со стальным сердечником обладает коэффициентом трансформации $n = 1/3$. Какое напряжение U_2 возникает на концах его вторичной обмотки, если к первичной обмотке приложить напряжение $U_1 = 14$ *в*?

По формуле (3-59а) находим

$$U_2 = \frac{14}{1/3} = 14 \cdot 3 = 42 \text{ в}.$$

Согласование сопротивлений. Условие равенства первичной и вторичной мощностей трансформатора со стальным сердечником

$(P_1=P_2)$ может быть записано как $I_1^2 R_{1э} = I_2^2 R_н$,

где I_1 — ток первичной обмотки;

$R_{1э}$ — сопротивление, которое оказывает трансформатор первичному току;

I_2 — ток вторичной обмотки;

$R_н$ — сопротивление, которым нагружена вторичная обмотка трансформатора

Из этой формулы вытекает, что приведенное сопротивление нагрузки, которым нагружается источник тока при включении через трансформатор нагрузочного сопротивления $R_н$, равно $R_{1э} = \frac{I_2^2}{I_1^2} R_н = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 \cdot R_н$. Но так как $\frac{I_2}{I_1} = n$, то

$$R_{1э} = n^2 \cdot R_н. \tag{3-60а}$$

Смысл этого выражения таков: сопротивление $R_{1э}$, которое оказывает трансформатор источнику тока, в n^2 раз больше сопротивления $R_н$, которым нагружена вторичная обмотка трансформатора. Выбирая коэффициент трансформации, можно как бы изменять сопротивление нагрузки, согласовывая его с внутренним сопротивлением источника тока. Для включения низкоомного сопротивления в высокоомную цепь применяют понижающий трансформатор $(n > 1)$, а для связи высокоомного нагрузочного сопротивления с низкоомным источником, наоборот, — повышающий $(n < 1)$. Величину $R_{1э}$, действующую в первичной цепи, называют приведенным сопротивлением нагрузки.

Пример. Условия наиболее эффективной работы выходного низкочастотного каскада на лампе 2С4С получаются при сопротивлении нагрузки 2 500 *ом*. Звуковая же катушка громкоговорителя имеет сопротивление 4 *ом*. Рассчитать необходимый коэффициент трансформации выходного трансформатора.

Из формулы (3-60а) следует, что $n^2 = \frac{R_{1э}}{R_н}$, или

$$n = \sqrt{\frac{R_{1э}}{R_н}}. \tag{3-60б}$$

Подставляя соответствующие значения, найдем

$$n = \sqrt{\frac{2\,500}{4}} = 25:1.$$

Пересчет обмоток трансформатора. В практике может встретиться необходимость пересчета отдельных обмоток готового трансформатора в целях приспособления его для работы в других цепях. Покажем на примерах, как производить подобные расчеты.

Примеры. 1. Силовой трансформатор с обмоткой для накала четырехвольтовых ламп надо установить в приемнике с шестивольтовыми лампами. Как перемотать для этого накальную обмотку ($U_1 = 4$ *в*), если она содержит $w_1 = 20$ витков, а лампы приемника рассчитаны на напряжение $U_2 = 6{,}3$ *в* и ток $I = 1{,}6$ *а*?

По формуле (3-21в) определяем новое число витков $w_2 = kw_1$. Так как по формуле (3-21д)

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{6{,}3}{4} = 1{,}57,$$

то $w_2 = 1{,}57 \cdot 20 = 32$ витка. Диаметр провода новой обмотки d_2 определим по формуле (3-15), причем плотность тока δ выбираем 2 *а/мм²*. Тогда

$$d_2 = 1{,}13\sqrt{\frac{1{,}6}{2}} \approx 1 \text{ мм}.$$

2. Вторичную обмотку выходного трансформатора, состоящую из $w_2 = 180$ витков провода диаметром $d_2 = 0{,}6$ *мм* и предназначенную для нагрузки $R_н = 10$ *ом*, нужно перемотать для нагрузки $R'_н = 2{,}5$ *ом*.

Из формулы (3-60б) видно, что коэффициент трансформации n обратно пропорционален квадратному корню из сопротивления нагрузки $R_н$. Но согласно формуле (3-58а) можно написать, что

$$w_2 = w_1\sqrt{\frac{R_н}{R_{1э}}},$$

т. е. что число витков вторичной обмотки прямо пропорционально квадратному корню из сопротивления нагрузки. Это значит, что новое число витков вторичной обмотки

$$w'_2 = w_2\sqrt{\frac{R'_н}{R_н}}. \tag{3-60в}$$

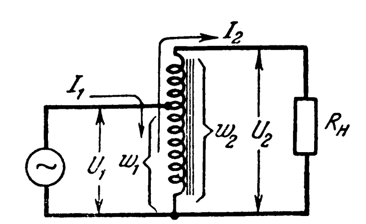
Подставляя в эту формулу соответствующие числа, получим $w'_2 = 180\sqrt{\frac{2{,}5}{10}} = 90$ витков. Для определения нового диаметра провода d'_2 можно пользоваться формулами (3-22) и (3-21в). В принятых для данного примера обозначениях они перепишутся как

$$d'_2 = \frac{d_2}{\sqrt{k}}, \text{ где } k = \frac{w'_2}{w_2} = \frac{90}{180} = 0{,}5. \text{ Тогда}$$

$$d'_2 = \frac{0{,}6}{\sqrt{0{,}5}} \approx 0{,}85 \text{ мм}.$$

Автотрансформатор. Работа автотрансформатора основана на том же принципе, что и работа трансформатора, но вместо двух изолированных обмоток он имеет одну секционированную обмотку (фиг. 3-30). Следовательно, в нем вторичная цепь от первичной не изолирована, и поэтому он не может отделять переменную составляющую от постоянной при пульсирующем токе. При значениях коэффициента трансформации, близких к единице $(0{,}5 \div 2)$, применение автотрансформатора

дает некоторые преимущества перед трансформатором. Теория устанавливает, что индуктированный (вторичный) ток I_2 сдвинут на 180° относительно индуктирующего (первичного) тока I_1, т. е. имеет в каждый момент времени противоположное ему направление. Поэтому через витки автотрансформатора, входящие и в первичную и вторичную цепи, проходит ток, равный разности токов I_1 и I_2, следовательно, эти витки могут быть намотаны более тонким



Фиг. 3-30. Схема автотрансформатора.

проводом, чем соответствующая обмотка обычного трансформатора. Кроме того, это обстоятельство позволяет уменьшить сечение стального сердечника, который должен обеспечить лишь преобразование мощности:

$$P_{АТ} = U_1 (I_1 - I_2), \qquad (3\text{-}61)$$

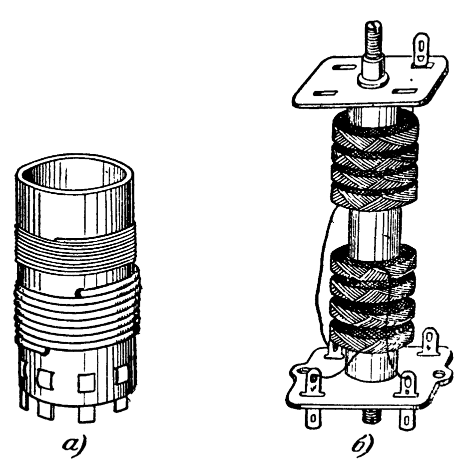
где $P_{АТ}$ — расчетная мощность автотрансформатора;
U_1 — напряжение на меньшей секции;
I_1 — ток в цепи, содержащей витки этой секции;
I_2 — ток в цепи, содержащей большее число витков.

В то же время вся передаваемая от источника в нагрузку мощность, как и у трансформатора, равна $U_1 \cdot I_1$.

Трансформаторы высокой частоты. Эти приборы, как и трансформаторы низкой частоты, осуществляют индуктивную связь между цепями первичной и вторичной обмоток, но эта связь получается много слабее, чем у трансформаторов со стальными сердечниками. Вследствие этого во вторичную цепь передается лишь незначительная доля энергии, подведенной к первичной обмотке. Поэтому здесь теряют смысл формулы (3-58) и (3-60), выведенные из условия равенства мощностей $P_1 = P_2$, и расчет таких трансформаторов весьма усложняется.

Примеры конструкций высокочастотных трансформаторов со слабой связью между обмотками приведены на фиг. 3-31,*а* и *б*.

В высокочастотных трансформаторах обычно одна из обмоток (а в полосовых фильтрах — обе) включается в качестве катушек настроенного колебательного контура. Как будет показано дальше, свойства колебательных контуров в большой мере зависят от степени связи их с другими цепями. Поэтому иногда конструкцией такого трансформатора предусматривается возможность изменять степень связи между первичной и вторичной цепями (для регулирования избирательности, полосы пропускаемых частот и иных целей).



Фиг. 3-31. Трансформаторы высокой частоты с постоянной связью.

10. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Колебательный контур — электрический маятник. Колебательный контур представляет собой цепь, состоящую из конденсатора, замкнутого на катушку индуктивности с малым активным сопротивлением. В такой цепи после подачи в нее одиночного электрического импульса возникают собственные электромагнитные колебания, которые состоят в том, что энергия, запасенная в электрическом поле конденсатора, переходит в энергию магнитного поля катушки и обратно. Эти переходы энергии от одного состояния в другое совершаются со свойственной данному контуру частотой.

Собственная частота колебаний контура. Частота f, возникающих в контуре собственных колебаний, практически зависит только от величин индуктивности L и емкости C и выражается той же формулой (3-45в), что и резонансная частота цепи, т. е.

$$f = \frac{1}{6{,}28\sqrt{L \cdot C}}. \qquad (3\text{-}61а)$$

Поскольку радиотехника имеет дело с относительно малыми индуктивностями и емкостями и с высокими частотами, то удобнее для расчета пользоваться формулой

$$f = \frac{5\,030}{\sqrt{L \cdot C}}, \qquad (3\text{-}61б)$$

где f — в *кгц*; L — в *мгн* и C — в *пф*.

Пример. Определить собственную частоту колебательного контура, состоящего из индуктивности $L = 0{,}8$ *мгн* и емкости $C = 200$ *пф*.

Подставляя в формулу (3-61б) соответствующие цифры, находим $f = \frac{5\,030}{\sqrt{0{,}8 \cdot 200}} = 400$ *кгц*.

В реальных условиях собственная частота колебательного контура несколько зависит и от его активного сопротивления, но этим почти всегда пренебрегают. Существенное влияние на частоту контура могут оказать неудачный его монтаж и влияние присоединенных к нему в схеме радиоаппарата цепей. Известно, что даже прямые проводники обладают емкостями и индуктивностями, которые при монтаже колебательного контура могут оказаться введенными в него параллельно или последовательно и изменят, следовательно, его собственную частоту. Эта так называемая е м к о с т ь м о н т а ж а может колебаться от 10 до 50 *пф*. Большое влияние на частоту колебаний может оказывать также собственная емкость контурной катушки, которая зависит от размеров, типа намотки, числа витков и может достигать величины 10—20 *пф* и больше. Нежелательные емкости и индуктивности могут возникнуть в монтаже от чрезмерного удлинения соединительных проводов контура и неудачного расположения их, а также от расположения катушек в непосредственной близости от металлических частей шасси и экранов. Поэтому для предотвращения значительных расстроек высокочастотных контуров надо применять по возможности короткие и прямые соединительные провода и тщательно продумывать расположение всех деталей и проводов (как входящих в колебательный контур, так и присоединенных к нему).

Затухание. Возникающие под влиянием одиночного импульса колебания всегда затухают из-за потерь энергии в активном сопротивлении цепи. Для уменьшения затухания нужно составлять контур из деталей с возможно малыми активными сопротивлениями, т. е. применять в них катушки с высокой добротностью Q_L и конденсаторы с малым углом потерь δ.

В реальных условиях затухание колебательного контура зависит также от его монтажа и схемы включения, так как потери энергии могут возникать и в соединительных проводах и в цепях, присоединенных к контуру, и даже в окружающем пространстве, пронизываемом магнитным и электрическим полями колебательного контура. Затухание контура тем больше, чем меньше сопротивление цепи, присоединенной к контуру, чем больше сопротивление проводов, образующих контур, в том числе провода катушки, чем больше изоляционных материалов применено для монтажа контура и цепей, присоединенных к нему, чем ближе к деталям контура расположены посторонние проводники, изоляторы, экраны и т. п.

Колебательный контур — резонансная цепь. Если к колебательному контуру подать переменное напряжение, частота которого равна собственной частоте контура, то в нем возникнут так называемые в ы н у ж д е н н ы е колебания с явлениями резонанса, упоминаемыми в § 8 настоящей главы.

Добротность колебательного контура. С точки зрения резонансных свойств качество колебательного контура определяется повышением напряжения, которое он обеспечивает при резонансе. Мерой качества колебательного контура является число, показывающее, во сколько раз возникающее в контуре (при резонансе) наибольшее напряжение $U_{макс}$ превышает подведенную к нему э. д. с. e. Это число называют д о б р о т н о с т ь ю к о л е б а т е л ь н о г о к о н т у р а и обозначают, как и у катушек индуктивности, буквой Q:

$$Q = \frac{U_{макс}}{e}.$$

Как нам уже известно, при резонансе напряжений наибольшие напряжения в резонансной цепи возникают на реактивных сопротивлениях X_L и X_C, поэтому в качестве $U_{макс}$ можно взять, например, напряжение на катушке индуктивности. Оно во столько раз больше приложенной к контуру э. д. с., во сколько раз индуктивное сопротивление катушки больше активного сопротивления цепи. Поэтому добротность колебательного контура может быть выражена и формулой

$$Q = \frac{X_L}{R}, \qquad (3\text{-}62)$$

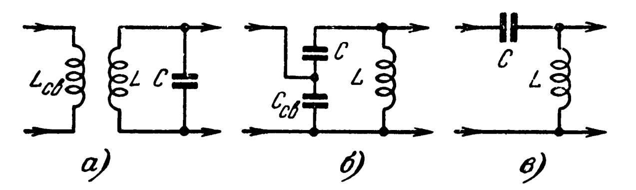
которая совпадает с выражением (3-34а) добротности одиночной катушки индуктивности, но при вычислении Q контура под R надо понимать активное сопротивление в с е г о контура при его резонансной частоте. В связи с большими трудностями расчета R добротность высокочастотных контуров определяют измерением. Обычно у хороших колебательных

контуров добротность измеряется десятками и доходит до 200—250, а у плохих она снижается до 5—10.

Затухание δ и добротность Q — величины взаимно обратные:

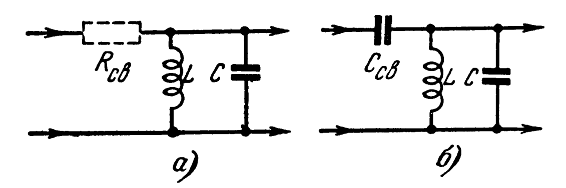
$$\delta = \frac{1}{Q}. \qquad (3\text{-}63)$$

Резонансное сопротивление. Как это было установлено выше, при резонансе напряжений сопротивление цепи LC принимает наименьшее, а при резонансе токов наибольшее из возможных значений. В радиоаппаратуре, особенно



Фиг. 3-32. Схемы контуров, использующих резонанс напряжений.

а — индуктивная связь; *б* — внутренняя емкостная связь; *в* — непосредственное присоединение к источнику э. д. с.



Фиг. 3-33. Схемы контуров, использующих резонанс токов.

а — источник э. д. с. подключен к полюсам контура непосредственно или через сопротивление; *б* — внешняя емкостная связь.

приемной, колебательные контуры обычно составляются параллельным соединением катушки и конденсатора. При такой схеме резонанс напряжений имеет место, если э. д. с. вводится внутрь контура, т. е. при индуктивной, внутренней емкостной или гальванической связи контура с источником э. д. с. (фиг. 3-32). В этих схемах связи колебательный контур обладает наименьшим резонансным сопротивлением и представляет для источника э. д. с. большую нагрузку. В случаях присоединения источника э. д. с. к полюсам контура или связи посредством сопротивления или конденсатора (фиг. 3-33) имеет место резонанс токов, при котором колебательный контур представляет наибольшее сопротивление.

При расчете усилителей и других схем важно знать численную величину резонансного сопротивления. При резонансе токов оно определяется по формуле, приведенной на стр. 49, или, если известно Q контура, то по формуле

$$Z_{рез} = \frac{Q}{6{,}28 f \cdot C}, \qquad (3\text{-}64а)$$

или

$$Z_{рез} = 6{,}28 f \cdot L \cdot Q, \qquad (3\text{-}65а)$$

где $Z_{рез}$ — резонансное сопротивление контура, *ом*;
f — резонансная частота, *гц*;
C — емкость контура, *ф*;
L — индуктивность контура, *гн*.

Эти формулы можно представить также в виде

$$Z_{рез} = \frac{16 \cdot 10^4 Q}{f \cdot C}, \qquad (3\text{-}64б)$$

или

$$Z_{рез} = 6{,}28 \cdot 10^{-8} f \cdot L \cdot Q, \qquad (3\text{-}65б)$$

если $Z_{рез}$ — в *ком*, f — в *кгц*, C — в *пф* и L — в *мкгн*.

При резонансе напряжений сопротивление контура определяется одним активным его сопротивлением R, которое по заданной величине добротности контура Q может быть подсчитано по формуле

$$R = \frac{1}{6{,}28 f \cdot C \cdot Q}, \qquad (3\text{-}66а)$$

или

$$R = \frac{6{,}28 f \cdot L}{Q}, \qquad (3\text{-}67а)$$

где R — сопротивление контура, *ом*;
f — резонансная частота, *гц*;
C — емкость контура, *ф*;
L — индуктивность контура, *гн*.

Эти же формулы могут быть выражены как

$$R = \frac{16 \cdot 10^7}{f \cdot C \cdot Q}, \qquad (3\text{-}66б)$$

или

$$R = \frac{f \cdot L}{160 Q}, \qquad (3\text{-}67б)$$

если R — в *ом*, f — в *кгц*, C — в *пф* и L — в *мкгн*.

Пример. Определить резонансное сопротивление контура при резонансе токов, если добротность контура $Q = 25$, резонансная частота $f = 1\,000$ *кгц* и емкость конденсатора $C = 200$ *пф*.

По формуле (3-64б) находим

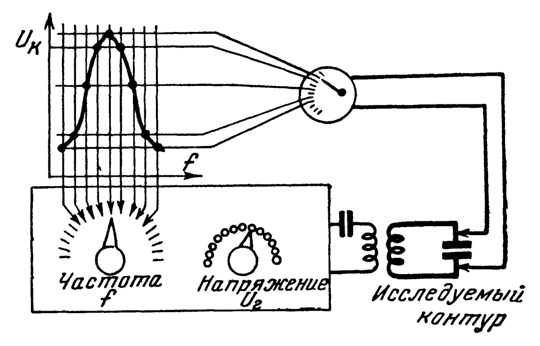
$$Z_{рез} = \frac{16 \cdot 10^4 \cdot 25}{1\,000 \cdot 200} = 20 \text{ ком}.$$

Этот же контур при резонансе напряжений (3-66б) представляет сопротивление

$$R = \frac{16 \cdot 10^7}{1\,000 \cdot 200 \cdot 25} = 32 \text{ ом}.$$

Резонансная кривая. Основное назначение колебательных контуров в радиоприемниках состоит в выделении сигналов принимаемой радиостанции, фильтрации ее сигналов от сигналов других радиостанций, работающих на соседних с принимаемой частотах. Судить о том, как колебательный контур реагирует на

частоты, близкие к его резонансной частоте, можно по резонансной кривой контура. Для снятия кривой резонанса нужно иметь вспомогательный генератор с точно определяемым выходным напряжением переменной частоты (генератор стандартных сигналов) и прибор для измерения переменных напряжений высокой частоты (ламповый вольтметр), возбуждаемых в колебательном контуре генератором. Резонанс отмечается максимальным показанием лампового вольтметра.



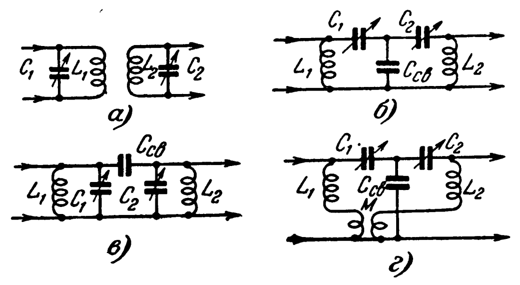
Фиг. 3-34. Снятие кривой резонанса по методу неизменного напряжения $U_г$ генератора.

Поддерживая неизменным напряжение генератора $U_г$, настраивают его на разные частоты и измеряют ламповым вольтметром напряжение на колебательном контуре (например, напряжение на его емкости). При резонансе показания прибора будут наибольшими. Тогда при расстройке частоты генератора в ту и другую стороны от резонанса получают убывающие напряжения $U_к$ на колебательном контуре. Показания прибора откладываются по вертикальной, а соответствующие частоты настройки генератора — по горизонтальной оси. По полученным точкам строится к р и в а я р е з о н а н с а (фиг. 3-34).

Зная разницу между частотами двух радиостанций, по резонансной кривой контура можно определить, во сколько раз ослабит он сигналы одной из них, будучи настроенным на вторую.

Для предотвращения ошибок при снятии кривой резонанса ламповый вольтметр должен обладать очень большим входным сопротивлением, а связь контура с генератором должна быть очень слабой.

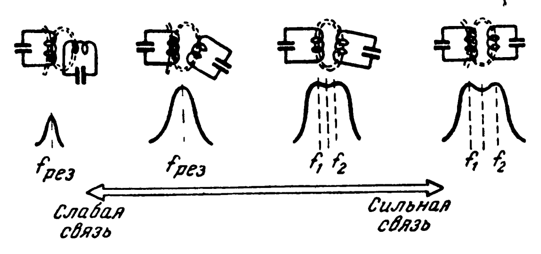
Связанные системы. Часто оказывается, что фильтрующие свойства одиночного контура недостаточны для эффективного отделения смежных частот от резонансной или же при необходимости равномерно усилить некоторую полосу частот, наоборот, резонансная кривая одиночного контура оказывается слишком узкой. Для улучшения формы резонансной кривой применяют два или больше связанных между собой колебательных контуров. Такие цепи называются с в я з а н н ы м и с и с т е м а м и и по своим свойствам могут быть причислены к полосовым электрическим фильтрам.



Фиг. 3-35. Схемы связи колебательных контуров.

а — индуктивная; *б* — внутренняя емкостная; *в* — внешняя емкостная; *г* — индуктивно-емкостная.

Связывать отдельные контуры между собой можно различными способами. Основные виды связи показаны на фиг. 3-35. Если связанная система предназначена для работы только на одной частоте, как это имеет место, например, в фильтрах промежуточной частоты, то выбор способа связи принципиальной роли не играет, важна лишь степень связи контуров. Если же колебательные контуры перестраиваются (например, в каскаде высокой частоты



Фиг. 3-36. Зависимость формы резонансной кривой от степени связи.

радиоприемника), то играет роль и способ связи контуров, так как от него зависит изменение степени связи при перестройке контуров на различные частоты. Чтобы при перестройке контуров резонансная кривая системы по возможности не изменялась, надо применять такой способ связи, который обеспечивает наибольшее постоянство степени связи вне зависимости от частоты и настройки контуров, например схему на фиг. 3-35,*г*. Заметим, что, как и во всяких электрических фильтрах, в связанных системах должна быть предотвращена непредусмотренная связь между контурами за счет взаимодействия магнитных полей их катушек, для чего катушка каждого колебательного контура должна быть помещена в самостоя-

тельный экран (это, конечно, не относится к схеме фиг. 3-35,*а*, использующей именно магнитную связь между катушками контуров).

Чем слабее связь между контурами, тем меньшая доля энергии передается через систему, но тем острее резонансная кривая. При увеличении связи напряжение после фильтра возрастает, но резонансная кривая расширяется. Начиная с определенной степени связи, оба контура так воздействуют друг на друга, что вместо одной получаются как бы две резонансные частоты: в кривой настройки появляются два горба (фиг. 3-36).

При не слишком сильной связи получается резонансная кривая, близкая к прямоугольной форме. Чем сильнее связь, тем дальше отстоят друг от друга частоты f_1 и f_2, т. е. полоса пропускания частот становится шире. Свойством связанных систем изменять форму резонансной кривой при изменении степени связи между колебательными контурами пользуются для регулирования полосы пропускаемых частот.

Настройка колебательного контура. Под настройкой колебательного контура понимают настройку его на определенную резонансную частоту.

Фиксированная настройка (настройка контура на одну постоянную для его работы частоту) достигается надлежащим подбором конденсатора и катушки. Контуры с фиксированной настройкой обычно все же снабжаются маленьким подстроечным конденсатором или же конструкция катушки предусматривает возможность незначительного изменения ее индуктивности, чтобы при налаживании радиоприбора или его ремонте можно было легко достичь или восстановить резонанс контура на заданной фиксированной частоте.

Плавная настройка предусматривает возможность плавного изменения резонансной частоты колебательного контура в широких пределах, совокупность же всех резонансных частот от низшей до высшей при этом называется диапазоном частот данного контура. Исключая простейшие радиоприемники, плавную настройку почти всегда производят изменением емкости, для чего применяют конденсаторы переменной емкости.

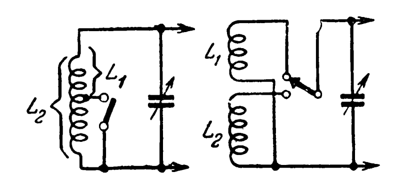
Коэффициент перекрытия диапазона показывает, во сколько раз в данном контуре высшая частота диапазона больше низшей:

$$k_д = \frac{f_в}{f_н}. \qquad (3\text{-}68а)$$

Если в формулу (3-68) подставить выражения $f_в$ и $f_н$, полученные при раздельном вычислении их по формуле (3-61) резонансной частоты, то окажется, что коэффициент перекрытия диапазона зависит только от соотношения минимальной и максимальной емкости контура (в контурах, настраиваемых с помощью конденсаторов); тогда

$$k_д = \sqrt{\frac{C_{макс} + C_o}{C_{мин} + C_o}}, \qquad (3\text{-}68б)$$

где $C_{макс}$ и $C_{мин}$ — соответственно максимальная и минимальная емкости конденсатора настройки; C_o — сумма всех монтажных и прочих емкостей, присоединенных параллельно контуру.



Фиг. 3-37. Две схемы переключения диапазонов настройки („грубая" настройка).

Как это видно из формулы (3-68б), наличие емкости C_o уменьшает коэффициент перекрытия диапазона, поэтому надо стремиться к возможному ее уменьшению.

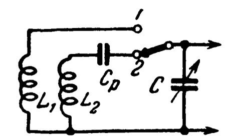
Грубая настройка, или переключение диапазонов, применяется как дополнительное средство расширения диапазона частот при плавной настройке контура. Грубая настройка обычно осуществляется скачкообразным изменением индуктивности. Основные две схемы грубой настройки приведены на фиг. 3-37. Часто отдают предпочтение схеме с отдельными катушками L_1 и L_2, которая делает налаживание аппаратуры на каждом диапазоне независимым и тем упрощает его.

Растянутая настройка. При обычном коэффициенте перекрытия (3 ÷ 3,5) в диапазоне коротких волн получается во много раз большее абсолютное изменение частоты, чем в диапазоне средних и длинных волн (на длинных волнах 430 *кгц* — 150 *кгц* = 280 *кгц*, на средних 1 500 *кгц* — 550 *кгц* = 950 *кгц*, а на коротких 20 *мггц* — 6 *мггц* = 14 *мггц* = 14 000 *кгц*).

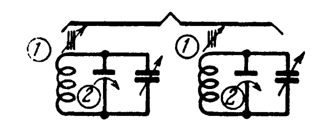
Так как участок диапазона, занимаемый одним радиопередатчиком, на всех диапазонах примерно одинаков (порядка 10 ÷ 20 *кгц*), то этот участок или, как его называют, канал одного радиопередатчика на длинных и средних волнах занимает $^1/_{40} \div {}^1/_{100}$ часть шкалы настройки, в то время как на коротких волнах всего лишь $^1/_{1\,000} \div {}^1/_{2\,000}$ часть ее. Это затруд-

няет точную настройку коротковолновых контуров на частоту принимаемой радиостанции, так как ничтожный поворот ручки настройки на тысячные доли полного угла поворота ее вызывает полную расстройку приемника.

Для облегчения настройки на коротких волнах в современных радиоприемниках предусматривается так называемая растянутая настройка, которая состоит в том, что коротковолновый диапазон разбивается на несколько отдельных участков (поддиапазонов) и настройка каждого из поддиапазонов растягивается на всю шкалу. Это требует уменьшения коэффициента перекрытия на каждом поддиапазоне по сравнению с его значением на средних и длинных волнах, для чего нужно уменьшить максимальную емкость $C_{макс}$ конденсатора настройки.



Фиг. 3-38. Схема контура с растянутой настройкой на диапазоне 2 (на диапазоне 1 — обычная настройка).



Фиг. 3-39. Схема контуров с согласованной настройкой.

Чтобы не применять на коротких волнах отдельного конденсатора переменной емкости с меньшим $C_{макс}$, последовательно с обычным конденсатором настройки включается постоянный конденсатор C_p небольшой емкости (фиг. 3-38). Тогда общая емкость, присоединенная к контурной катушке, уменьшается, причем в зависимости от величины C_p она может оказаться в конце диапазона лишь немногим больше, чем в начале, и, следовательно, коэффициент перекрытия диапазона можно сделать сколь угодно малым, обеспечив этим очень медленное изменение резонансной частоты по шкале настройки.

Смотря по достигаемому коэффициенту перекрытия, различают полурастянутую настройку, когда каждый поддиапазон в 2—3 раза меньше обычного, и собственно растянутую, когда каждый поддиапазон составляет $^1/_{15}$—$^1/_{30}$ часть обычного коротковолнового диапазона.

Подстройка перестраиваемого контура необходима при налаживании аппаратуры по тем же причинам, что и подстройка контуров с фиксированной настройкой. Для этой цели, как и там, принимаются те же самые меры (добавление к контуру подстроечного конденсатора, применение катушки с подвижным сердечником или иные средства изменения индуктивности в небольших пределах).

Согласованная настройка. В диапазонных усилителях высокой частоты и в настраивающихся связанных системах необходимо одновременно перестраивать все контуры, причем их резонансные частоты в любой момент их настройки должны точно совпадать, это и понимается под согласованной настройкой. Если f_1, f_2 и т. д. означают резонансные частоты первого, второго, третьего и т. д. колебательных контуров, то условие согласованной настройки требует, чтобы $f_1 = f_2 = f_3 = \dots$ Выражая частоты через L и C формулу (3-61а), можно переписать как

$$\frac{1}{6{,}28\sqrt{L_1 \cdot C_1}} = \frac{1}{6{,}28\sqrt{L_2 \cdot C_2}} = \frac{1}{6{,}28\sqrt{L_3 \cdot C_3}} = \dots,$$

или

$$L_1 \cdot C_1 = L_2 \cdot C_2 = L_3 \cdot C_3 = \dots \qquad (3\text{-}69)$$

Из полученного выражения следует, что для достижения резонанса контуров на одинаковой частоте достаточно подобрать L и C так, чтобы их произведения в каждом контуре были одинаковыми.

Пример. Заграждающий контур в антенной цепи приемника, состоящий из катушки индуктивности $L_1=2{,}4$ *мгн* и конденсатора $C_1=50$ *пф*, оказался поврежденным. В распоряжении радиомастера оказалась катушка $L_2=1{,}6$ *мгн*. Если поставить в поврежденном контуре эту катушку, то какой необходим конденсатор C_2, чтобы настройка контура осталась прежней.

Так как должно иметь место равенство $L_1 \cdot C_1 = L_2 \cdot C_2$, то искомая емкость конденсатора

$$C_2 = \frac{L_1 \cdot C_1}{L_2} = \frac{2{,}4 \cdot 50}{1{,}6} = 75 \text{ пф}.$$

В перестраиваемых контурах предпочитают применять для согласованной настройки одинаковые катушки, с тем чтобы производить перестройку контура одинаковыми конденсаторами переменной емкости, которые легко объединять на одной оси. Но применение одинаковых катушек и конденсаторов еще не гарантирует точного соответствия L и C во всех контурах, поэтому необходимо дополнительное выравнивание и индуктивности и емкости каждого колебательного контура, а также строгая идентичность конденсаторов переменной емкости, осуществляющих согласованную настройку всех контуров. Таким образом, если в контуре с фиксированной настройкой вполне достаточно иметь лишь один орган подстройки, то для согласованной настройки всегда желательно иметь их два: подстройку емкости и подстройку индуктивности (фиг. 3-39).

Сопряженная настройка применяется в супергетеродинных приемниках и в некоторых

радиоизмерительных приборах. Она предусматривает такую одновременную настройку двух колебательных контуров, чтобы разность между резонансными частотами их все время оставалась неизменной. Если эту разность обозначить через Δf, а частоты одного и другого контура через f_1 и f_2, то условие сопряженной настройки будет:

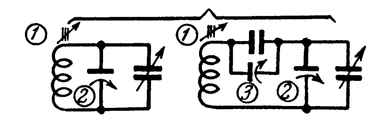
$$\Delta f = f_2 - f_1 = \textit{постоянная величина}, \quad (3\text{-}70а)$$

которое должно оставаться верным для любого значения f_1. Это возможно лишь в том случае, если f_2 не будет принимать произвольных значений, а будет сопряжено с f_1 равенством

$$f_2 = f_1 + \Delta f, \quad (3\text{-}70б)$$

т. е. будет всегда превышать f_1 на Δf.

Точное сопряжение в любой точке диапазона возможно только лишь при применении в



Фиг. 3-40. Схема контуров с сопряженной настройкой.

контурах специально рассчитанных конденсаторов переменной емкости. На практике применяется и обеспечивает достаточно хорошее сопряжение особая схема с обычными одинаковыми конденсаторами переменной емкости (фиг. 3-40).

Схема фиг. 3-40 обеспечивает точное сопряжение только на трех частотах, зависящих от соотношения индуктивностей и емкостей обоих колебательных контуров, на остальных же частотах получаются бóльшие или меньшие расхождения. Поэтому для достижения наилучшего сопряжения здесь требуются уже не два органа подстройки, как при согласованной настройке, а три.

Частота и длина волны. Кроме рассмотренных нами замкнутых колебательных контуров, где электрическое и магнитное поля сосредоточены в небольших и обычно отдельных для каждого поля участках пространства, огромную роль в радиотехнике играют открытые колебательные контуры, создающие электрическое и магнитное поля на большом участке пространства. Таковы, например, антенны.

Пространство, в котором одновременно действуют электрическое и магнитное поля одного контура, носит название электромагнитного поля. Такое поле образуется в пространстве вокруг открытого колебательного контура при наличии в последнем электрических колебаний; оно излучается им в пространство и распространяется в виде электромагнитных волн на большие расстояния.

Электромагнитные волны распространяются со скоростью света, которую принимают равной 300 000 *км/сек*. Путь, проходимый электромагнитной волной за время одного колебания, называют длиной волны:

$$\lambda = 300\,000\,000T = 3 \cdot 10^8 T, \quad (3\text{-}71а)$$

или

$$\lambda = \frac{300\,000\,000}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}, \quad (3\text{-}71б)$$

где λ — длина волны, *м*;
T — период колебаний, сек.;
f — частота колебаний, *гц*.

Если ставится обратная задача: определить частоту (в килогерцах), когда известна длина волны λ (в метрах), то

$$f = \frac{300\,000}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^5}{\lambda}. \quad (3\text{-}71в)$$

В соответствии с формулой (3-71) построена номограмма фиг. 1-5 на стр. 15.

11. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

Электронная лампа представляет собой баллон (стеклянный или металлический), из которого выкачан воздух, или, как говорят, в котором вакуум доведен до весьма высокой степени (до 10^{-6}—10^{-7} *мм* рт. ст.) и в котором расположены в определенном порядке электроды.

Минимальное число электродов в лампе может быть два: катод и анод.

Катод в электронной лампе служит источником свободных электронов. Существует два типа катодов: катоды с непосредственным нагревом и катоды с косвенным подогревом. Первый представляет накаливаемую тонкую металлическую (обычно вольфрамовую) нить, которая и служит непосредственно источником электронов; во втором случае нить накала проходит внутри фарфоровой трубки, на которую надет металлический цилиндр, покрытый активным слоем, испускающим электроны при относительно низкой температуре подогревной нити. Нить в обоих случаях накаливается проходящим через нее электрическим током. Чем сильнее накаливается нить, тем больше электронов испускает катод, но тем быстрее он теряет свои эмиссионные свойства, тем быстрее лампа выходит из строя. Поэтому накал катода не должен превосходить нормальной для него величины, т. е. напряжение и ток накала

не должны превосходить указанных для данной лампы значений.

Анод представляет собой обычно металлический полый цилиндр, в центре которого располагается катод. Если на анод дать положительное (относительно катода) напряжение, то испускаемые катодом электроны направятся к аноду, т. е. через лампу пойдет анодный ток. Величина анодного тока (при данном накале катода) будет зависеть только от напряжения на аноде: ток будет возрастать с увеличением этого напряжения, пока им не будут притягиваться все испускаемые катодом электроны или, как говорят, пока не будет достигнут ток насыщения, после чего дальнейшее увеличение напряжения на аноде уже не вызовет увеличения анодного тока.

Двухэлектродные лампы, называемые диодами, находят применение в качестве детекторов и кенотронов — выпрямителей переменного тока.

Между катодом и анодом можно расположить еще электроды в виде сеток из тонкой проволоки. Подавая на эти сетки те или иные по величине и по знаку (относительно катода) напряжения, мы будем в той или иной степени управлять анодным током: при данном анодном напряжении положительные напряжения на сетках будут способствовать увеличению анодного тока, отрицательные же напряжения на них будут уменьшать его. Кроме того, при положительных напряжениях на сетке часть испускаемых катодом электронов будет ответвляться и на них, т. е. в цепях сеток, появится сеточный ток; при отрицательных напряжениях на сетках сеточных токов не будет.

В зависимости от назначения применяют лампы с разными (по густоте) сетками и с разным их числом. Лампы с одной сеткой (управляющей) называют триодами. Лампы с двумя сетками называют тетродами или лампами с экранной сеткой (эта сетка служит экраном между анодом и управляющей сеткой, уменьшая между ними емкость). Лампы с тремя сетками называют пентодами или лампами с защитной сеткой (эта сетка защищает экранную сетку от вторичных электронов, выбиваемых с анода анодным током). Лампы с пятью сетками (из них две экранные) называют гептодами. Для каждой из сеток, как и для анода данной лампы, имеются определенные, наивыгоднейшие с точки зрения использования лампы напряжения, которые обычно указываются в паспорте лампы как нормальные и которых нужно придерживаться при включении лампы в работу.

График зависимости между анодным током и напряжениями на аноде и сетках электронной лампы при определенном напряжении накала ее нити называется характеристикой лампы. Если характеристика снимается при изменяющемся на управляющей сетке, но неизменных на аноде и других сетках напряжениях, она называется анодно-сеточной характеристикой. Если же характеристика снимается при изменяющемся на аноде, но неизменных на управляющей и других сетках напряжениях, она называется анодной характеристикой.

Сеточная характеристика и схема для ее получения показаны на фиг. 3-41,*а*. Несколько таких характеристик, снятых при разных анодных напряжениях, составляет семейство характеристик (фиг. 3-41,*б* и *в*). По характеристикам ламп определяют параметры ламп и допустимый для них режим работы.

Основные параметры электронной лампы. Параметры ламп определяют на прямолинейной части их характеристик.

Крутизна характеристики. Возьмем на прямолинейной части фиг. 3-41,*а* точку, соответствующую напряжению на управляющей сетке — 2 *в*, что соответствует току 3 *ма*. Увеличим напряжение на сетке на 1 *в* (убавим его до —1 *в*); этому напряжению соответствует по характеристике ток 4,4 *ма*. Увеличению напряжения на сетке в 1 *в* соответствует увеличение тока на 4,4—3 = 1,4 *ма*. Эту величину, 1,4 *ма* на 1 *в*, определяемую измерением или по характеристикам ламп, называют крутизной S характеристики лампы. Не во всех точках характеристики крутизна одинакова; в прямолинейной части характеристики крутизна максимальна, а около верхнего и нижнего изгибов она убывает.

Формулу для вычисления крутизны S (при неизменном анодном напряжении) можно написать в виде

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c}, \qquad (3\text{-}72)$$

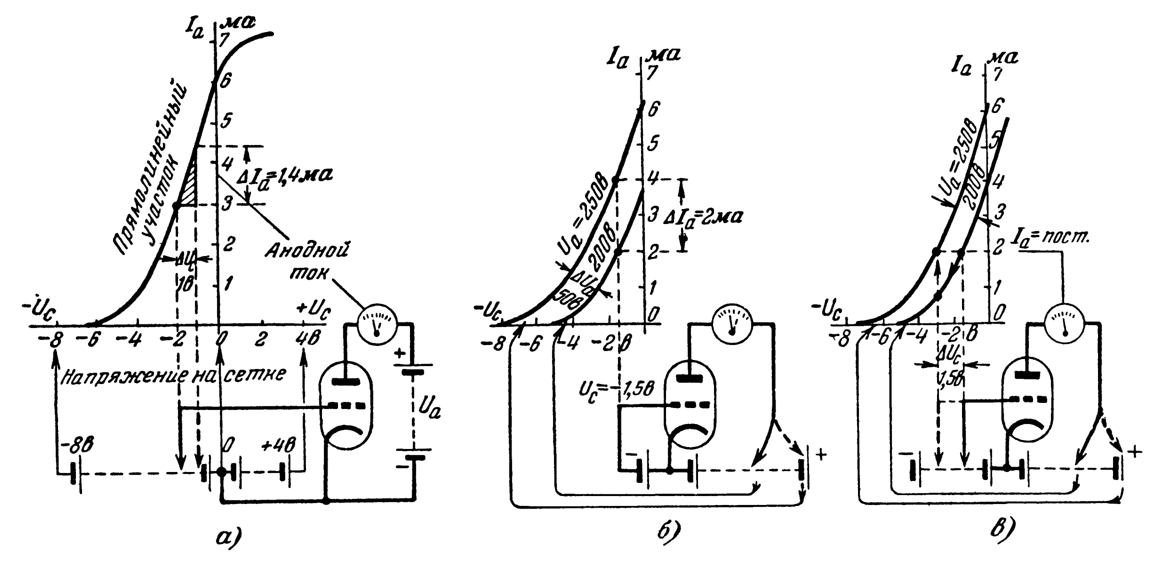
где ΔI_a — изменение анодного тока, *ма*; ΔU_c — изменение сеточного напряжения, *в*.

В нашем примере $S = 1,4$ *ма/в*.

Внутреннее сопротивление. Ток I_a, проходящий через лампу, и анодное напряжение U_a, действующее между ее катодом и анодом, позволяют вычислить по закону Ома сопротивление $R = \frac{U_a}{I_a}$, оказываемое лампой постоянному току. Но это внутреннее сопротивление постоянному току играет роль

только в очень редких случаях, например, когда лампа включается в схему в качестве регулируемого сопротивления; изменяя ток накала или напряжение на сетке, можно изменять R в широких пределах.

Более важное значение имеет внутреннее сопротивление R_i лампы переменному току, получающееся как отношение изменения анодного напряжения к соответствующему



Фиг. 3-41. Сеточные характеристики трехэлектродной лампы.

а — определение крутизны характеристики; *б* — определение внутреннего сопротивления лампы; *в* — определение коэффициента усиления лампы.

ему изменению анодного тока (при неизменном напряжении на сетке):

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}, \qquad (3\text{-}73)$$

где все величины берутся либо в омах, вольтах и амперах, либо в килоомах, вольтах и миллиамперах.

Пример. Если при неизменном сеточном напряжении, равном —1,5 *в*, повысить анодное напряжение U_a на 50 *в* и при этом анодный ток I_a увеличится на 2 *ма* (фиг. 3-41, *б*), то по формуле (3-73)

$$R_i = \frac{50}{2} = 25 \text{ ком}.$$

Коэффициент усиления показывает, во сколько раз действие на анодный ток напряжения на сетке сильнее, чем действие на него анодного напряжения. Анодный ток лампы можно изменить не только изменением сеточного, но и изменением анодного напряжения. Поэтому коэффициент усиления определяют как отношение изменения анодного напряжения к изменению сеточного напряжения, вызывающих одинаковые изменения анодного тока.

Формула коэффициента усиления при неизменном анодном токе имеет вид.

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c}. \qquad (3\text{-}74)$$

Пример. Если изменить сеточное напряжение U_c от —1,5 до —3 *в*, т. е. на —1,5 *в* (фиг. 3-41,*в*), то, чтобы анодный ток принял свое первоначальное значение (2 *ма*), анодное напряжение U_a надо увеличить от 200 до 250 *в*, т. е. на 50 *в*. Следовательно, коэффициент усиления $\mu = \frac{50}{1,5} \approx 33$.

Проницаемостью лампы называют величину, обратную коэффициенту усиления. Проницаемость D обычно выражают в процентах:

$$D = \frac{1}{\mu} \cdot 100\%. \qquad (3\text{-}75)$$

Три параметра связаны между собой уравнениями

$$S \cdot R_i = \mu, \qquad (3\text{-}76а)$$

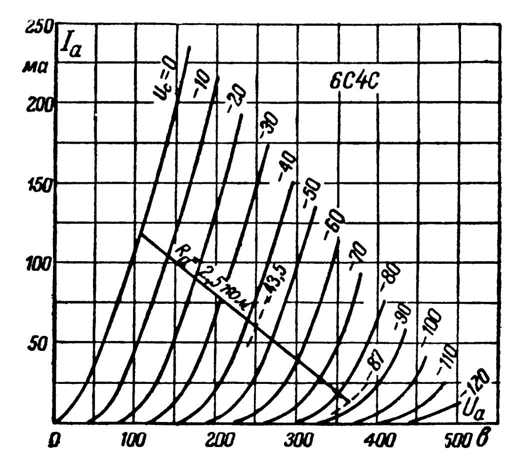
или

$$S \cdot R_i \cdot D = 100, \qquad (3\text{-}76б)$$

где D — в %, R_i — в *ом*, S — в *а/в*, или R_i — в *ком* и S — в *ма/в*.

Эти уравнения позволяют определить любой из параметров лампы, если известны два других параметра. Так как каждый из этих параметров предполагает неизменность какой-либо величины, определяющей режим лампы (анодного напряжения или тока, или сеточного напряжения), то они называются статическими.

Анодные характеристики. Семейство анодных характеристик приведено на фиг. 3-42. Определение параметров лампы по ним производится аналогично определению их из сеточных характеристик. Анодные характеристики позволяют правильно выбрать рабочий режим



Фиг. 3-42. Семейство анодных характеристик.

лампы в соответствии с допустимой мощностью рассеяния на аноде.

Мощность рассеяния на аноде. Мощность рассеяния на аноде равна произведению анодного тока на анодное напряжение

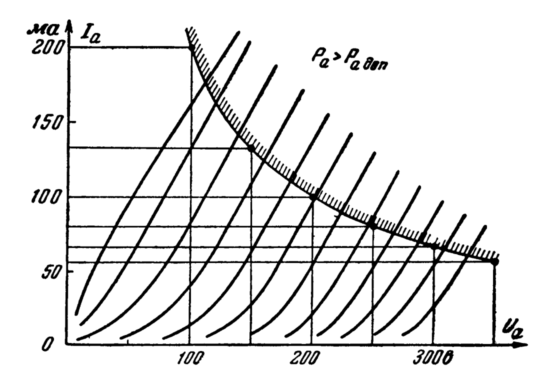
$$P_a = I_a \cdot U_a. \qquad (3\text{-}77а)$$

Этой мощностью определяется нагрев анода под влиянием бомбардировки его электронами, составляющими анодный ток лампы. В соответствии с конструкцией анода для каждой лампы существует максимальная мощность рассеяния на аноде, превышение которой грозит нарушением нормальной работы лампы.

График максимальной мощности рассеяния на аноде можно построить на анодных характеристиках. Если, предположим, у какой-либо лампы $P_a = 20$ *вт*, то, очевидно, на основании формулы (3-77а) задача сводится к построению графика

$$I_a = \frac{20}{U_a}. \qquad (3\text{-}77б)$$

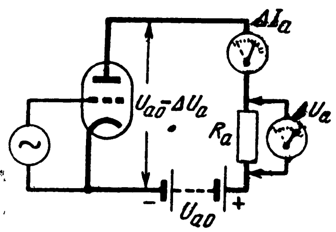
Вычислив по формуле (3-77б) I_a при нескольких значениях U_a (например, при $U_a = 100$ *в*, $U_a = 150$ *в*, $U_a = 200$ *в* и т. д.) через 50 *в*, наносят эти точки (0,2 *а*, 0,133 *а*, 0,1 *а* и т. д.) на координатную сетку анодных характеристик лампы и, соединив их плавной линией, получают график максимальной мощности $P_{a\,макс}$ (фиг. 3-43). Область рабочих режимов, расположенная ниже и левее графика максимальной мощности, соответствует допустимым мощностям рассеяния на аноде, а область вправо и вверх от графика — мощ-



Фиг. 3-43. Построение графика максимальной мощности рассеяния.

ностям рассеяния, превышающим максимально допустимую мощность ($P_a > P_{a\,макс}$).

Динамические характеристики. Использование электронной лампы с управляющей сеткой в качестве усилителя основано на том, что в ее анодную цепь включается нагрузочное сопротивление R_a (фиг. 3-44), в котором происходит падение напряжения, пропорциональное анодному току лампы. Если к управляющей сетке нагруженной лампы приложить переменное напряжение, то возникающие в такт с ним колебания анодного тока вызовут аналогичные колебания напряжения на сопротивлении R_a, а вместе с ним и изменения напряжения на аноде лампы.

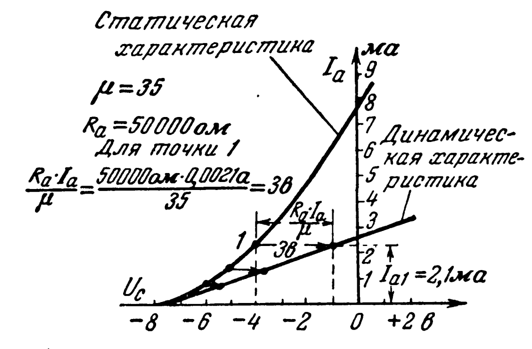


Фиг. 3-44. Нагрузка анодной цепи лампы сопротивлением.

Когда анодный ток достигает наибольшего значения, падение напряжения на R_a будет максимально, а анодное напряжение U_a минимально. При этом хотя анодный ток и достигает наибольшего значения, но вследствие

уменьшения анодного напряжения он увеличивается не так сильно, как при отсутствии нагрузочного сопротивления. Другими словами, крутизна характеристики уменьшается; из статической крутизны она переходит в динамическую. Для определения динамической крутизны характеристики, а также для исследования истинного режима работы лампы служат динамические характеристики.

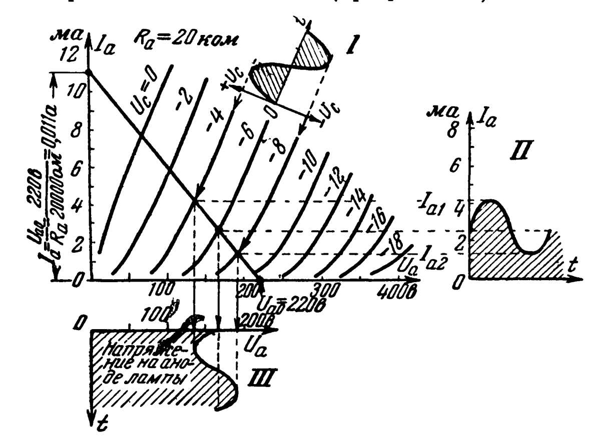
Динамическая сеточная характеристика может быть построена по сеточной статической характеристике, соответствующей анодному напряжению, равному напряжению источника питания. Истинное напряжение на аноде лампы равно разности напряжения источника и падения напряжения в нагрузочном сопротивлении (см. фиг. 3-44). Последнее



Фиг. 3-45. Построение сеточной динамической характеристики.

равно $I_a \cdot R_a$. Но уменьшение анодного напряжения на $I_a \cdot R_a$ равноценно уменьшению сеточного напряжения на величину, в μ раз меньшую, т. е. на $\frac{I_a \cdot R_a}{\mu}$. Поэтому, задавшись каким-либо значением I_a и определив на статической сеточной характеристике точку, соответствующую этому I_a, достаточно сдвинуть эту точку вправо по горизонтали на величину $\frac{I_a \cdot R_a}{\mu}$ (фиг. 3-45). Определяя подобным образом ряд других точек графика и соединяя их, получают новый график зависимости I_a от U_c при наличии в анодной цепи R_a, который и будет динамической сеточной характеристикой[1]. Прежними приемами из этого графика находят крутизну (динамическую) характеристики.

Динамическая анодная характеристика представляет прямую линию, пересекающую статические анодные характеристики лампы (фиг. 3-46), поэтому для ее построения достаточно определить лишь две ее точки. В качестве одной из них служит точка на горизонтальной оси, соответствующая напряжению источника анодного питания U_{a0}. Другую точку берут на вертикальной оси при значении $I_a = \frac{U_{a0}}{R_a}$. Проведенная через эти две точки прямая охватывает все точки, которые связывают соответствующие друг другу значения сеточного напряжения U_c, анодного тока I_a и истинного напряжения на аноде лампы U_a. Задавшись определенным колебанием напряжения на управляющей сетке (график *I* на фиг. 3-46), можно определить вызываемые им колебания анодного тока (график *II*) и напряжения на аноде (график *III*).



Фиг. 3-46. Построение анодной динамической характеристики.

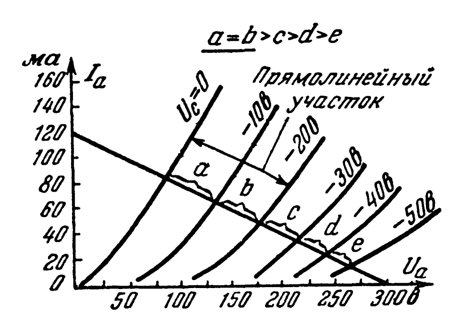
Чтобы определить динамическую крутизну S по анодной характеристике, отмечают отрезок динамической характеристики, заключенной между крайними рабочими напряжениями на сетке (например, на фиг. 3-46 $U_{c1} = -4$ *в* и $U_{c2} = -8$ *в*) и находят соответствующие концам этого отрезка анодные токи ($I_{a1} = 4{,}2$ *ма* и $I_{a2} = 1{,}3$ *ма*). Разность анодных токов $\Delta I_a = I_{a1} - I_{a2} = 2{,}9$ *ма* делят на разность сеточных напряжений $\Delta U_a = U_{c2} - U_{c1} = 4$ *в* и определяют

$$S_д = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} = \frac{2{,}9}{4} = 0{,}72 \text{ ма/в}.$$

Из графика *III* на фиг. 3-46 можно видеть, что переменная составляющая напряжения на аноде лампы находится в противофазе с напряжением управляющей сетки: увеличению напряжения на сетке (положительной полуволне его) соответствует уменьшение напряжения на аноде (отрицательная полуволна).

[1] Динамическую сеточную характеристику можно построить и по семейству статических сеточных характеристик.

Рабочая точка. Строго говоря, рабочей точкой характеристики электронной лампы называется та точка на ее сеточных или анодных характеристиках, которая связывает рабочие величины сеточного и анодного напряжений с анодным током при отсутствии переменного напряжения на управляющей сетке. Но так как на практике анодное напряжение в большинстве случаев бывает задано, поэтому, говоря о выборе рабочей точки, обычно имеют в виду



Фиг. 3-47. Определение линейности сеточной характеристики по семейству анодных характеристик.

выбор напряжения сеточного смещения, т. е. постоянного напряжения U_{c0} на управляющей сетке лампы, ибо при заданном анодном напряжении напряжение на сетке однозначно определяет положение рабочей точки на характеристиках и анодный ток. От выбора рабочей точки зависят условия работы лампы, и поэтому правильный выбор рабочей точки является очень важным вопросом.

Назначение каскада является решающим условием выбора рабочей точки лампы. Если лампа применяется в качестве усилителя и необходимо иметь минимальные искажения, то рабочую точку надо обязательно располагать в пределах прямолинейного участка сеточной характеристики. С точки зрения неискаженного усиления наибольших амплитуд следовало бы выбирать рабочую точку посредине прямолинейного участка, но это не всегда дает наилучшие результаты, так как обычно прямолинейный участок сеточной характеристики своей верхней частью заходит в область положительных напряжений на сетке, при которых возникает сеточный ток, что не всегда допустимо.

Если имеются в распоряжении сеточные характеристики, то определение прямолинейного участка характеристики не представляет затруднений. Но правильно выбрать рабочую точку можно и с помощью семейства анодных характеристик с нанесенной на них динамической анодной характеристикой. Для этого достаточно сравнить измерительным циркулем длины отрезков a, b, c, d, ..., отсекаемых на динамической характеристике статическими кривыми различных U_c (фиг. 3-47). Неизменной крутизне, т. е. отсутствию искажений, соответствует тот участок динамической характеристики, в пределах которого эти отрезки равны друг другу; там же, где отрезки начинают укорачиваться (c, d, e), крутизна уменьшается, и это соответствует изгибу сеточной характеристики.

В случае применения лампы в качестве детектора, ограничителя, амплитудного селектора, генератора, а также в двухтактных усилителях, высокочастотных усилителях мощности и умножителях частоты рабочая точка почти всегда выбирается на изгибах сеточной характеристики, с тем чтобы получить в анодной цепи колебания новой формы, не соответствующей форме подведенного к сетке напряжения.

Сеточный ток. Если управляющая сетка лампы получает положительный по отношению к катоду потенциал, то некоторая часть электронов, летящих к аноду, притягивается сеткой и создает в ее цепи ток постоянного направления.

Наличие тока в цепи сетки сопровождается резким уменьшением сопротивления участка схемы катод—сетка и влечет за собой заметную нагрузку на источник, подающий напряжение в сеточную цепь лампы. Поскольку в большинстве случаев такие источники (антенна, микрофон, звукосниматель, лампа предшествующего каскада, колебательный контур) обладают большим внутренним сопротивлением, то уменьшение их нагрузочного сопротивления сопровождается увеличением на них внутреннего падения напряжения и, следовательно, снижением поступающего на сетку напряжения.

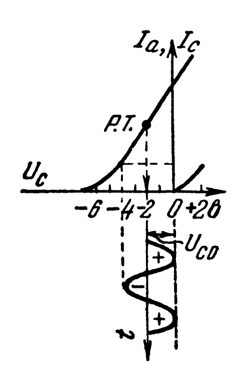
Если рабочая точка выбрана так, что колебания управляющего напряжения целиком лежат в области положительных напряжений на сетке, то может наблюдаться резкое уменьшение усиления. Если же колебания управляющего напряжения лишь частично заходят в область положительных напряжений на сетке, то ослабляется усиление лишь этих частей каждого колебания, в результате чего в колебаниях анодного тока наблюдаются искажения формы сигнала, подведенного к сетке. Поэтому в усилительных каскадах, где искажения колебаний недопустимы, режим работы лампы с сеточными токами, как правило, не применяется. Исключение составляют двухтактные

усилители классов В и AB_2, а также специальные схемы, где предшествующий каскад делается достаточно мощным, чтобы он мог работать устойчиво при уменьшении нагрузочного сопротивления. Для большинства же каскадов рабочую точку надо выбирать так, чтобы максимальные положительные импульсы управляющего напряжения вовсе не заходили в область положительных напряжений на сетке (фиг. 3-48). Для этого при синусоидальных колебаниях управляющего напряжения величина отрицательного сеточного смещения должна быть, по крайней мере, равна амплитуде управляющего сеточного напряжения.

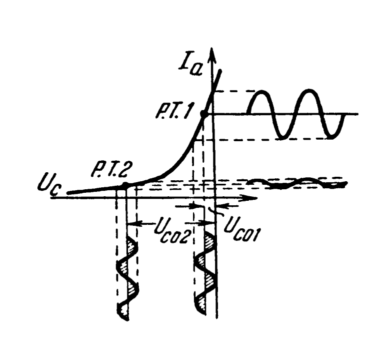
В действительности сеточный ток, хотя и незначительный, всегда имеет место даже и при небольшом отрицательном напряжении на сетке. Поэтому для получения наибольшего входного сопротивления лампы (сопротивления участка катод—сетка) желательно по возможности увеличивать отрицательное сеточное смещение и брать его больше, чем было только что указано. Этим широко пользуются в конструкциях высокоомных ламповых вольтметров.

Крутизна характеристики любой лампы даже в пределах так называемого прямолинейного участка непостоянна. В области отрицательных напряжений на сетке она увеличивается по мере уменьшения сеточного смещения. Но чем больше крутизна характеристики, тем больше усиление каскада, в котором работает данная лампа. Поэтому для получения большего усиления имеет смысл по возможности уменьшать напряжение сеточного смещения, когда стремятся получить большое усиление при минимальном числе ламп. Однако так поступать можно только при небольших переменных сеточных напряжениях, когда рабочую точку можно переместить со средины вверх прямолинейного участка без риска завести положительные амплитуды усиливаемого напряжения в область сеточных токов. В оконечных же каскадах, где прямолинейный участок характеристики, как правило, используется полностью, чаще всего приходится рабочую точку помещать точно посредине его.

То обстоятельство, что крутизна характеристики непостоянна при различных положениях рабочей точки, используется для регулирования усиления и в ряде автоматических регулировок. Но этот способ опять-таки применим лишь при небольших переменных напряжениях, так как иначе изменение положения рабочей точки (изменение напряжения смещения) может привести к сильным искажениям усиливаемых колебаний. В связи с этим такого рода регулирование устраивается большей частью в высокочастотных каскадах приемников, где амплитуда сеточных напряжений мала. Обычно лампы имеют слишком резкий нижний изгиб характеристики и при работе близ него даже при сравнительно малых переменных напряжениях вносят большие искажения. Поэтому здесь желательны характеристики с удлиненной нижней частью и с плавным изменением крутизны и коэффициента усиления на участке, на котором лежит рабочая точка



Фиг. 3-48. Выбор рабочей точки при работе без сеточного тока.



Фиг. 3-49. Сеточная характеристика лампы с переменной крутизной.

(фиг. 3-49). Это достигается применением лампы с управляющей сеткой, у которой витки ее на концах намотаны гуще, чем в середине. Если на такую сетку подать большое отрицательное смещение, лампа будет работать на участке с малой крутизной и небольшим коэффициентом усиления, при небольшом же смещении на сетке лампа будет работать на крутой части характеристики и с большим коэффициентом усиления. Такие лампы называются лампами с переменной крутизной или лампами с удлиненной характеристикой.

Экономичность питания анодной цепи в большой мере зависит от выбора рабочей точки. Если усиливаемое переменное напряжение невелико и рабочую точку можно сдвинуть со средины прямолинейного участка влево, не опасаясь, что отрицательные амплитуды попадут на нижний изгиб характеристик, то в целях экономичности питания, например в батарейной аппаратуре, это всегда полезно сделать. При очень малых переменных напряжениях (в каскадах усиления) можно даже вывести рабочую точку на самый изгиб, если он не слишком резкий, но при этом наряду с уменьшением анодного тока уменьшается крутизна и усиление каскада может оказаться очень незначительным.

При выборе рабочей точки надо позаботиться и о том, чтобы соответствующими ей значениями U_a и I_a не была превышена максимально допустимая мощность рассеяния на аноде.

Предельные режимы лампы. В заключение обращаем внимание читателя на предельные режимы лампы, нарушение которых приводит в лучшем случае к ненормальной работе лампы, а в худшем — к выходу лампы из строя.

Максимальное напряжение, которое может быть приложено к электродам ненагретой лампы, не должно быть выше указанного в паспорте значения. Это особенно следует учитывать при подогревных лампах и кенотроне с непосредственным накалом, так как, пока их катоды (особенно оконечной лампы) не разогреются и не начнется нормальное потребление анодного тока, возможно значительное перенапряжение.

Максимально допустимый катодный ток, слагающийся из токов всех электродов (анода, экранной сетки и т. д.), указывается для предотвращения повреждения материала катода вследствие превышения этого предельного значения.

Максимально допустимая мощность рассеяния для любого электрода (анода, экранной сетки, вспомогательного анода и т. д.), равная произведению средних значений тока и напряжения данного электрода относительно катода лампы, не должна превышать установленной величины.

Максимально допустимоé напряжение на любом электроде указывается относительно катода для предотвращения пробоя, коронного разряда и других явлений, могущих повлечь выход лампы из строя.

Максимальное напряжение между нитью накала и катодом предписывается в видах сохранности изоляции. Разности напряжений могут достигать особенно больших значений у ламп универсального питания с последовательным соединением нитей накала.

Максимально допустимое сопротивление утечки между сеткой и катодом слагается из всех сопротивлений, находящихся в данном сеточном контуре, а также всех фильтрующих и регулирующих напряжение сопротивлений. Превышение его приводит к скоплению на управляющей сетке отрицательного заряда и нарушает нормальную работу лампы, вызывая сильные искажения.

* * *

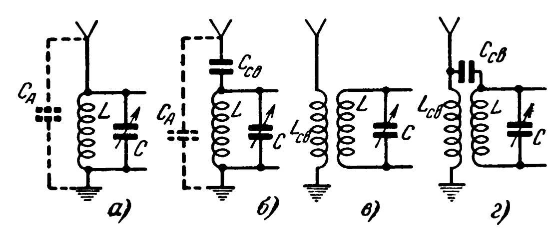
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

1. ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ЧАСТЬ ПРИЕМНИКА

Связь с антенной и антенные фильтры. *Непосредственное подключение* антенны к колебательному контуру LC (фиг. 4-1,*а*) применяется только в детекторных радиоприемниках. Хотя в этой схеме в колебательный контур из антенны передается максимальная энергия, но емкость и индуктивность антенны оказывают влияние на настройку колебательного контура и, так как они зависят от ее размеров, то тем самым становится невозможной градуировка колебательного контура.

Более распространена *емкостная связь* (фиг. 4-1,*б*). При достаточно малой емкости конденсатора связи $C_{св}$ (обычно в пределах 10—40 *пф*) влияние параметров антенны на настройку колебательного контура мало, так как емкость антенны присоединяется к контуру последовательно с емкостью $C_{св}$, вследствие чего полная емкость, вносимая в контур антенной цепью, не может превысить $C_{св}$. Недостатком емкостной связи является то, что степень связи антенны с контуром меняется при настройке контура на



Фиг. 4-1. Основные виды связи с антенной.
а — непосредственная; *б* — емкостная· *в* — индуктивная; *г* — комбинированная.

разные частоты: увеличение емкости конденсатора C, образующего вместе с конденсатором $C_{св}$ емкостной делитель, уменьшает связь с антенной на низших частотах диапазона, и чувствительность приемника падает. Применение емкостной связи с антенною

рационально только в случае контуров, настроенных на фиксированную частоту.

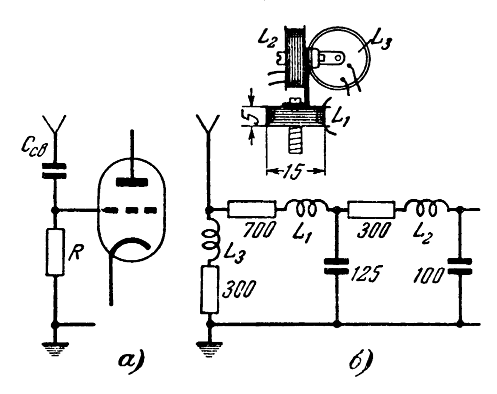
Индуктивная связь (фиг. 4-1,*в*) находит более широкое применение. Индуктивность катушки $L_{св}$ практически определяет собственную частоту антенны. Если эту индуктивность сделать малой, то собственная волна антенны окажется короче самой короткой волны диапазона и восприимчивость ее к более длинным волнам уменьшится. Кроме того, уменьшится и степень связи на более низких частотах.

В результате этого чувствительность приемника к концам диапазонов (на низших частотах) будет уменьшаться. Если индуктивность катушки связи сделать достаточно большой, чтобы собственная частота антенной цепи получилась меньше наинизшей частоты диапазона, то наблюдается несколько меньшее усиление в начале диапазона (на высших частотах) и повышение его в конце диапазона (на низших частотах). Неравномерность связи по диапазону во втором случае получается значительно меньше, чем в первом; к тому же ее легко выравнять одновременным применением слабой емкостной связи (фиг. 4-1,*г*), которая компенсирует ослабление связи в начале диапазона. Для этой цели емкость конденсатора $C_{св}$ выбирается в пределах 5—10 *пф*; иногда эта выравнивающая емкостная связь образуется емкостью между катушками $L_{св}$ и L или между антенным проводом и цепями колебательного контура.

Понижение собственной частоты антенной цепи является также эффективной мерой ослабления зеркального приема в супергетеродинах на средних и длинных волнах. Зеркальная частота выше принимаемой на удвоенную промежуточную, так что на средневолновом и длинноволновом диапазонах ей соответствуют волны короче принимаемых. Поэтому свойственное такой антенной цепи уменьшение усиления в области более коротких волн способствует устранению зеркального приема. Катушка связи $L_{св}$, намотанная на одном каркасе с контурной, содержит в первом варианте связи меньшее число витков, чем последняя, а во втором варианте число витков катушки связи $L_{св}$ обычно в 2—2,5 раза превышает число витков контурной катушки.

Если в результате неправильного расчета катушки $L_{св}$ или в связи с применением очень маленькой антенны собственная частота ее попадает в пределы диапазона принимаемых волн, то понизить частоту антенной цепи можно присоединением параллельно катушке $L_{св}$ конденсатора.

В простейших приемниках иногда применяют апериодическую входную цепь без колебательного контура. В этом случае антенна подключается к активному сопротивлению (или дросселю высокой частоты), с которого напряжение подается непосредственно на управляющую сетку первой лампы (фиг. 4-2,*а*). Для предотвращения попадания в приемник низкочастотных помех антенну присоединяют к со-



Фиг. 4-2. Апериодическая антенна.
а — простейшая; *б* — с фильтром нижних частот; $L_1=L_2$=0,19 *мгн* (95 витков ПЭШО 0,22); L_3=1,5 *мгн* (280 витков ПЭШО 0,1).

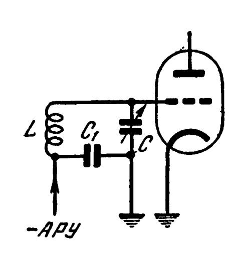
противлению через конденсатор емкостью порядка 10—100 *пф* (сообразно с величиной сопротивления R).

Так как при такой схеме в простейших супергетеродинах возникает опасность одновременного приема по двум каналам (по основному и зеркальному), то у таких приемников промежуточную частоту выбирают высокой (около 1 600 *кгц*), с тем чтобы наинизшая из зеркальных частот оказалась выше наивысшей из принимаемых частот основного канала. Это осуществимо только для средних и длинных волн, в связи с чем подобные супергетеродины не имеют коротковолнового диапазона. Устранить зеркальный прием при таких условиях можно применением фильтра нижних частот, рассчитанного на срезание частот выше основного канала. Такая схема с данными, соответствующими верхней частоте принимаемого диапазона 1 500 *кгц* (200 *м*), приведена на фиг. 4-2,*б*.

Заграждающие фильтры (см. фиг. 3-27,*а* и *б*) в цепи антенны применяются для: 1) отстройки от местных радиопередатчиков (в простых приемниках, обладающих низкой избирательностью) и 2) преграждения доступа на сетку первой лампы сигналов с частотой, равной промежуточной. Первые, если они установлены заводом-изготовителем, делаются перестраивающимися, в условиях же данного города в радиомастерской можно устанавли-

вать эти фильтры с настройкой на фиксированную частоту местного передатчика. Вторые всегда бывают настроены на промежуточную частоту приемника.

Входные колебательные контуры. Входные контуры выделяют напряжение колебаний принимаемого радиопередатчика и подают его на управляющую сетку первой лампы приемника. Применяют две схемы входных цепей: с одиночным настраиваемым контуром (см. фиг. 3-35,*а*) и с двумя контурами, образующими полосовой фильтр обычно с внутренней емкостной связью (фиг. 3-35,*б*). Применение второй схемы сопряжено с удорожанием приемника, поэтому ее используют только в приемниках повышенного качества. Применение внутренней емкостной связи объясняется тем, что при ней остается довольно постоянной в любых точках диапазона полоса пропускания частот. Еще большим постоянством полосы пропускаемых частот обладает схема с комбинированной индуктивной связью (фиг. 3-35,*г*), где индуктивная связь осуществляется небольшими катушками $L_{св}$, из 10—20 витков каждая. Этой схеме присуща также более равномерная передача напряжения по диапазону, в то время как чисто емкостная связь между контурами несколько ослабляет напряжение на втором контуре в начале диапазона (хотя это может быть компенсировано применением емкостной связи первого контура с антенной).



Фиг. 4-3. Подача смещения на сетку при отсутствии сопротивления в цепи катода.

Коэффициент передачи напряжения у полосового фильтра бывает порядка 1—3 и оказывается ниже, чем у одиночного контура (2—5); но двукратное понижение чувствительности приемника возмещается улучшением других его параметров. Особенно важны полосовые фильтры в супергетеродинах, где они способствуют ослаблению большинства специфических недостатков этих приемников и обеспечивают более равномерное усиление всего спектра боковых частот.

Отметим, что низкопотенциальный конец контурных катушек не всегда присоединяется непосредственно к заземленной точке. Почти всегда через катушку контура подается на управляющую сетку первой лампы напряжение смещения или АРУ. Если только сеточное смещение создается не на сопротивлении, включенном в цепь катода лампы, то низкопотенциальный конец катушки не заземляется, а присоединяется к отрицательному полюсу источника напряжения смещения или АРУ. Поскольку ротор конденсатора переменной емкости обычно заземляется, то для образования замкнутой высокочастотной цепи низкопотенциальный конец контурной катушки соединяют с шасси или с заземленным проводом, а вместе с тем и с ротором конденсатора переменной емкости через постоянный конденсатор C_1 (фиг. 4-3), емкость которого при согласованной настройке ряда контуров должна, по крайней мере, в 20 раз превосходить конечную емкость конденсатора настройки, в противном случае максимальная емкость контура заметно уменьшается введением в него такого последовательного конденсатора C_1. Этот конденсатор нужно поместить при монтаже так, чтобы путь току высокой частоты от контурной катушки через него к заземленному выводу конденсатора C был наикратчайшим.

Усилитель высокой частоты. В приемнике прямого усиления усилитель высокой частоты служит главным образом целям повышения чувствительности приемника, в супергетеродинных же приемниках он применяется в основном для повышения избирательности по отношению к тем мешающим частотам, которые в силу особенностей супергетеродинного принципа могут проникнуть в усилитель промежуточной частоты. Это позволяет значительно уменьшить свисты и шумы, свойственные супергетеродинам среднего качества. Кроме того, наличие усилителя высокой частоты ослабляет связь гетеродина с антенной и способствует уменьшению излучения его колебаний. В полной мере справиться с этими задачами может только резонансный усилитель.

В резонансном усилителе нагрузочным сопротивлением является настроенный на усиливаемую частоту колебательный контур. В зависимости от способа включения контура различают схемы с непосредственной, автотрансформаторной и индуктивной или трансформаторной связью.

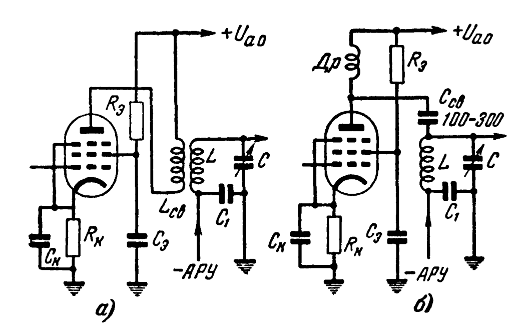
Наибольшее распространение находят схемы фиг. 4-4. Схема с индуктивной связью позволяет подбирать связь между катушками $L_{св}$ и L, причем можно получить либо наибольшее усиление, либо наилучшую избирательность. Кроме того, получающееся здесь изменение связи по диапазону в некоторой мере может компенсировать неравномерность коэффициента передачи входных цепей. При схеме фиг. 4-4,*б* во избежание расстройки колебательного контура и неравномерности усиления индуктивность анодного дросселя *Др* должна, по крайней мере, в 20 раз превосходить индук-

тивность контурной катушки наиболее длинноволнового диапазона.

В усилителях высокой частоты применяются обычно высокочастотные пентоды. Коэффициент усиления K каскада на пентоде по схеме фиг. 4-4,*б* приблизительно равен

$$K = S \cdot Z_a, \tag{4-1}$$

где Z_a — резонансное сопротивление контура на выбранной для расчета частоте;
S — крутизна характеристики в рабочей точке.



Фиг. 4-4. Усилитель высокой частоты.
а — схема с индуктивной связью; *б* — схема параллельного питания.

В схемах с индуктивной (трансформаторной) связью коэффициент усиления зависит еще от взаимоиндукции M катушек $L_{св}$ и L:

$$K = S \cdot Z_a \cdot \frac{M}{L}, \tag{4-2}$$

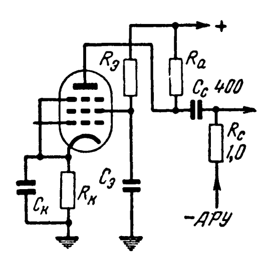
$$\text{где } M = k\sqrt{L_{св} \cdot L}. \tag{4-3}$$

Коэффициент связи k можно принять равным 0,24 (среднее значение).

При заданных контурах усиление каскада может быть повышено только за счет применения лампы с большей крутизной характеристики. Однако предел усилению ставит междуэлектродная емкость сетка — анод лампы $C_{c\text{-}a}$, так как возникающая через нее обратная связь при больших усилениях приводит к самовозбуждению схемы. Чем выше частота, тем меньше предельно возможное усиление каскада.

При монтаже усилителя к емкости $C_{c\text{-}a}$ может прибавиться емкость между проводами, присоединенными к управляющей сетке и аноду лампы. В связи с этим может резко уменьшиться максимально допустимый коэффициент усиления, и каскад самовозбудится. Для предотвращения этого надо особенно внимательно монтировать провода указанных цепей, по возможности удаляя их друг от друга. На практике коэффициент усиления высокочастотного каскада радиовещательного приемника составляет в среднем 30—60, снижаясь на коротких волнах до 10—30.

Избирательность усилителя высокой частоты определяется избирательностью резонансного колебательного контура. Если элементы схемы выбраны правильно и не увеличивают затухания контура, то резонансная кривая усилителя совпадает с резонансной кривой контура. Если имеется два или большее число каскадов усиления, то общий коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления всех каскадов, а избирательность усилителя возрастает с увеличением числа настроенных контуров.



Фиг. 4-5. Апериодический усилитель на сопротивлении.

Апериодический усилитель (фиг. 4-5) не обладает избирательными свойствами. Коэффициент усиления его значительно ниже, чем при резонансном усилении, и в связи с шунтирующими нагрузочное сопротивление R_a междуэлектродными и монтажными емкостями заметно снижается с повышением частоты. Например, при лампе 6К7 максимальные коэффициенты усиления составят около 50 на длинных, порядка 15 на средних и только 1,5 на коротких волнах. Средством повышения усиления здесь является, как и прежде, применение лампы с большой крутизной характеристики, например типа 6Ж4. Сопротивление нагрузки R_a большей частью лежит в пределах 5—10 *ком*.

Применение усилителей с апериодическим нагрузочным сопротивлением ограничивается обычно усилением в небольших диапазонах частот, в пределах которых коэффициент усиления изменяется не слишком сильно. В противном случае схема усилителя усложняется введением элементов, корректирующих его частотную характеристику.

Таблица 4-1

Применяемые в усилителях высокой частоты конденсаторы (см. схемы фиг. 4-4)

Емкости	Рабочий диапазон волн усилителя		
	Длинные, средние и короткие волны	Короткие волны	Ультракороткие волны
$C_к$	0,1 *мкф*	5 000 *пф*	1 000 *пф*
$C_э$	0,01—0,1 *мкф*	5 000 *пф*	1 000 *пф*
C_1	0,02—0,1 *мкф*	5 000—10 000 *пф*	500 *пф*

Примечание. Емкость в развязывающей цепи берется не менее двадцатикратной максимальной емкости конденсатора настройки.

Средние значения конденсаторов и сопротивлений, применяемых в высокочастотных усилителях радиовещательных приемников, указаны в табл. 4-1 и 4-2.

Таблица 4-2

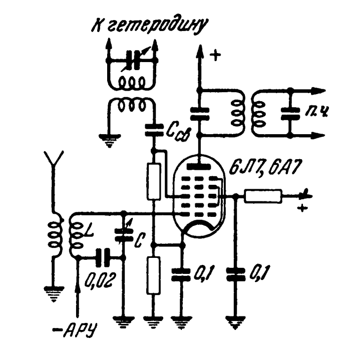
Типовые режимы ламп и величины сопротивлений

Напряжения и сопротивления	Резонансный усилитель								Апериодический усилитель	
	6К7	6Ж7, 6Ж8	6К3, 6К9С	6К3, 6К7, 6К9С	6Ж7, 6Ж8	2Ж2М	1К1П		6Ж4	6Ж6С
U_{a_0}, *в*	250	250	250	100	100	120	90	45	100	250
U_a, *в*	250	250	250	100	100	120	90	45	90	220
$U_э$, *в*	100	100	100	100	100	70	45	45	100	100
U_{c_0}, *в*	−3	−3	−3	−1	−3	−1	0	0	−2	−2,5
$R_к$, *ом*	300	1 000	250	70	1 000	—	—	—	200	250
$R_э$, *ком*	100	250	60	0	0	180	70	0	0	50

Примечание. U_{a_0} — напряжение источника анодного питания; U_a — напряжение на аноде; $U_э$ — напряжение на экранной сетке; U_{c_0} — напряжение сеточного смещения (при подаче его из общих цепей питания, т. е. когда отсутствует катодное сопротивление $R_к$).

2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ

Преобразование частоты в супергетеродинном приемнике представляет собой процесс получения из двух колебаний колебания третьей — промежуточной — частоты. Лампа, в которой приходящие и местные колебания комбинируются, чтобы образовать промежуточную частоту, называется с м е с и т е л е м. Если к тому же смесительная лампа одновременно еще и генерирует местные колебания, то она называется п р е о б р а з о в а т е л е м.



Фиг. 4-6. Схема двухсеточного электронного смесителя.

Смеситель. Обычно приходящие и местные колебания подводятся к разным сеткам одной и той же лампы (гептода). Включение такого двухсеточного смесителя показано на фиг. 4-6.

Будем в дальнейшем называть сетку, на которую подается напряжение принимаемых сигналов, у п р а в л я ю щ е й, а сетку, к которой подводится напряжение частоты гетеродина, — г е т е р о д и н н о й. Для двухсеточной лампы характерно, что сеточные характеристики по одной сетке (например, управляющей) зависят от напряжения на другой сетке (гетеродинной).

Подачей на управляющую и гетеродинную сетки напряжений смещения, например $U_{c0} = -3$ *в* и $U_{c02} = -8$ *в*, определяется исходная рабочая точка (*A* на фиг.4-7,*а*). Если на обе сетки подать еще переменные напряжения, то характер изменения анодного тока будет зависеть от разности фаз между напряжениями, приложенными к обеим сеткам. Два таких случая (совпадение фаз и противоположные фазы) представлены на фиг. 4-7,*б* и *в*. Здесь нанесены кривые *BC* и *DE*, по которым перемещается в каждом случае рабочая точка (динамические характеристики).

При работе смесителя на управляющую и гетеродинную сетки воздействуют напряжения различных частот. При этом фаза одного напряжения (более высокой частоты) все время опережает фазу другого напряжения (более низкой частоты). Разность фаз между колебаниями на обеих сетках меняется непрерывно и плавно и за время, пока одно напряжение опережает другое на целый период, процесс изобразится так, как это показано на фиг. 4-7,*г*.

Из фиг. 4-7,*г* видно, что, кроме колебаний высокой частоты, в анодном токе появляются более медленные колебания среднего значения его (изображены штрих-пунктирной линией), причем один период этих колебаний происходит в промежуток времени, в который более высокая частота опередит на один целый период более низкую частоту, что соответствует разности частот этих колебаний. Другими словами, частота изменений средней составляющей анодного тока равна разности между частотой гетеродина и частотой принимаемого сигнала. Эта частота называется п р о м е ж у т о ч н о й ч а с т о т о й.

Ток промежуточной частоты определяется формулой

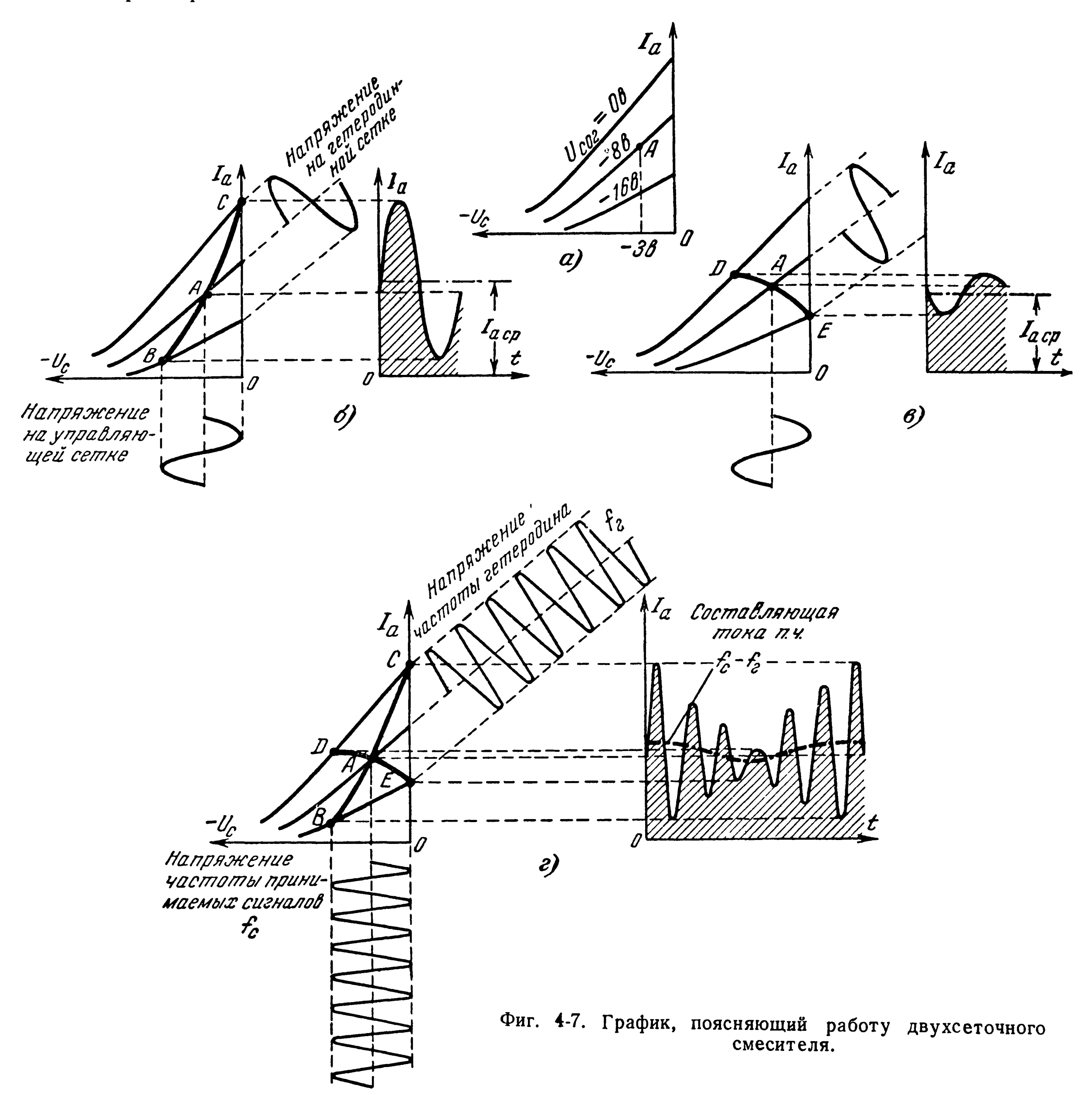
$$I_п = S_{пр} \cdot U_c, \qquad (4\text{-}4)$$

где U_c — напряжение на управляющей сетке и $S_{пр}$ — так называемая к р у т и з н а п р е о б р а з о в а н и я.

Крутизна преобразования зависит от разности крутизны статических характеристик, которые охватываются колебаниями гетеродина: чем больше крутизна характеристик и чем больше напряжение гетеродина, тем больше

$S_{пр}$. Можно принять, что $S_{пр} \approx (0,25 - 0,3) S_{макс}$, где $S_{макс}$ — наибольшее значение статической крутизны из захватываемых гетеродином характеристик.

Режим электронного смесителя определяет качество работы приемника. Выбор режима смесителя можно производить по так называемой характеристике преобразо-



Фиг. 4-7. График, поясняющий работу двухсеточного смесителя.

Усиление промежуточной частоты в преобразовательном каскаде определяется формулой

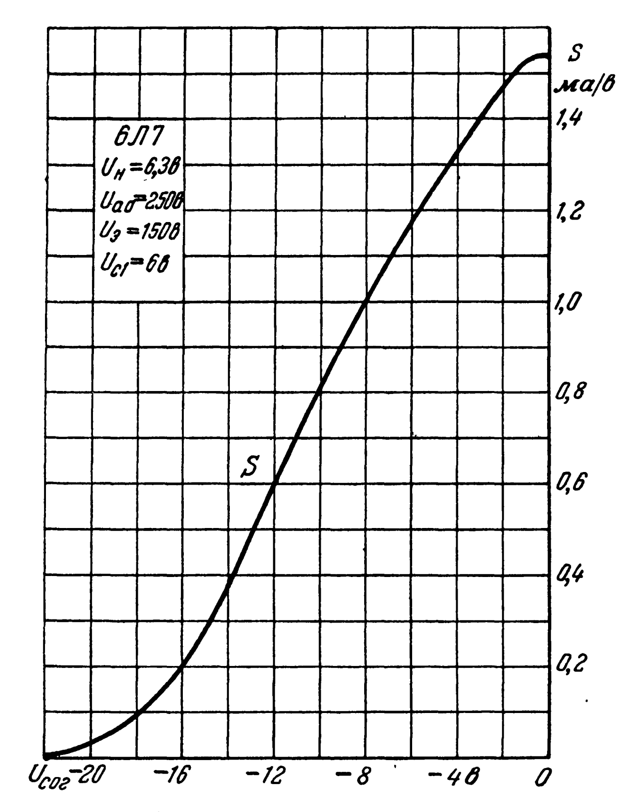
$$K = S_{пр} \cdot Z_a, \tag{4-5}$$

где Z_a — сопротивление нагрузочного анодного контура или фильтра, настроенного на промежуточную частоту.

вания, изображающей изменение крутизны характеристики, в зависимости от напряжения смещения на гетеродинной сетке (фиг. 4-8). Хотя получение наибольшего усиления требует повышения амплитуды напряжения на гетеродинной сетке, так как это вызывает увеличение $S_{пр}$, но если амплитуда слишком велика, то, как это следует из

фиг. 4-8, можно выйти за пределы прямолинейной части характеристики преобразования и вообще за ее пределы. То и другое приводит к появлению большого числа гармоник, за счет которых появляются искажения и свисты.

На характеристике преобразования отмечают крайние точки $U_{сог\ макс}$ и $U_{сог\ мин}$ ее использования и по этим точкам определяют



Фиг. 4-8. Характеристика преобразования.

постоянное напряжение смещения $U_{сог}$ как среднее между ними:

$$U_{сог} = \frac{U_{сог\ макс} + U_{сог\ мин}}{2}. \tag{4-6}$$

Амплитуда переменного напряжения выражается абсолютным значением полуразности $U_{сог\ макс}$ и $U_{сог\ мин}$:

$$U_{сг} = \left| \frac{U_{сог\ макс} - U_{сог\ мин}}{2} \right|. \tag{4-7}$$

Анодная нагрузка. Из фиг. 4-7,*в* видно, что анодный ток смесителя имеет очень сложную форму. Анализ этой формы показывает, что наиболее сильно будут проявляться в анодной цепи колебания с частотой принимаемых сигналов, с частотой гетеродина и суммы и разности частот сигнала и гетеродина. Для того чтобы не нагружать следующий за смесителем усилитель промежуточной частоты колебаниями всех этих частот, анодным нагрузочным сопротивлением смесителя служит колебательный контур или лучше связанная система, настроенная на промежуточную частоту супергетеродина. Связанная система (полосовой фильтр) позволяет выбором надлежащего коэффициента связи получить наиболее благоприятную для выделения колебаний промежуточной частоты форму резонансной кривой.

Гетеродин. Требования, предъявляемые к гетеродину. В качестве гетеродина может работать любая из схем высокочастотных генераторов. К гетеродину предъявляются три основных требования: 1) частота его колебаний должна отличаться от резонансной частоты входных высокочастотных контуров на величину промежуточной частоты; 2) возможно более высокая стабильность частоты при изменении питающих напряжений и температуры; 3) амплитуда колебаний должна быть по возможности неизменной и соответствующей выбранному режиму работы смесителя.

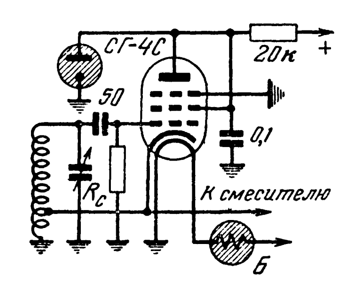
Первое требование удовлетворяется сопряженной настройкой колебательного контура гетеродина и выходных контуров высокой частоты. Стабильность частоты и амплитуды колебаний достигается выбором соответствующего рабочего режима гетеродинной лампы, рациональным монтажем схемы, тщательным выбором деталей электрической схемы и чисто конструктивных деталей, главным образом изолирующих (ламповая панелька, каркасы катушек, плата переключателя и т. п.).

Вопросы, касающиеся выбора деталей и монтажа, рассматриваются в гл. 7, здесь же мы остановимся на свойствах различных схем гетеродинов и общих принципах, определяющих качество работы гетеродина.

Из простых схем гетеродинов наибольшей стабильностью частоты при колебании питающих напряжений обладает так называемая трехточечная схема с индуктивной связью. Чтобы уменьшить колебания питающих напряжений, в особо ответственных случаях, питание гетеродина можно стабилизировать ионным стабилизатором напряжения (анодное напряжение) и стабилизатором тока (ток накала). Применительно к радиоприемникам с одноручечным управлением, где ротор конденсатора переменной емкости заземлен, трехточечная схема с индуктивной связью и стабилизаторами осуществима в виде, изображенном на фиг. 4-9.

Из других схем с индуктивной обратной связью лучшие результаты дает схема с настроенным контуром в цепи анода, чем с контуром в цепи сетки.

Режим лампы. Установлено, что стабильность генератора по частоте и амплитуде тем выше, чем меньше потери в его колебательном контуре, т. е. больше его добротность. Поэтому на качество деталей колебательного контура должно быть обращено особое внимание. Затем стабильность гетеродина повышается с уменьшением его мощности (так как при этом уменьшается нагрев деталей контура и самой лампы) и при понижении питающих гетеродин напряжений. Поскольку от гетеродина приемника не требуется значительной мощности, это благоприятствует созданию облегченного режима работы лампы, что является одной из мер повышения стабильности работы гетеродина. Снижение питающих напряжений, связанное с уменьшением мощности колебаний, способствует также ослаблению гармоник в составе генерируемых колебаний и связанных с ними свистов.

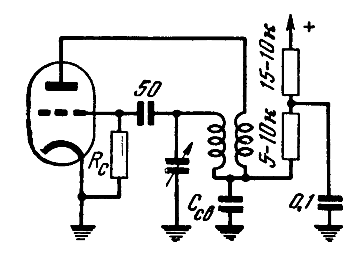


Фиг. 4-9. Полная схема гетеродина по трехточечной схеме со стабилизацией.

СГ-4С — газовый стабилизатор анодного напряжения, *Б* — бареттер для стабилизации тока накала ламп.

В пределах каждого диапазона наблюдается, хотя и незначительное, изменение добротности контура. Значительно больше изменяется добротность контура при переходе с одного диапазона на другой при замене одной катушки другой. В связи с этим всегда имеет место некоторое изменение амплитуды генерируемых гетеродином колебаний при перестройке приемника. Первой мерой стабилизации амплитуды колебаний по диапазону, которая почти всегда применяется в гетеродине, является задание смещения на управляющей сетке с помощью сопротивления утечки сетки. Напряжение, создаваемое на сопротивлении утечки сетки, пропорционально амплитуде колебаний, поэтому увеличение их амплитуды приводит к увеличению отрицательного смещения, что, в свою очередь, ослабляет обратную связь и заставляет уменьшаться амплитуду колебаний в контуре.

Другой мерой, эффективной на длинных волнах, является устройство комбинированной индуктивно-емкостной обратной связи (фиг. 4-10). Добротность контура уменьшается к концу диапазона (на низших частотах). Поэтому обычно в конце диапазона уменьшается и амплитуда колебаний. Но емкостное сопротивление конденсатора связи $C_{св}$ с понижением частоты увеличивается и, следовательно, напряжение обратной связи на нем возрастает, поддерживая убывающую амплитуду колебаний в контуре. В качестве конденсатора связи $C_{св}$ используется сопрягающий последовательный конденсатор.



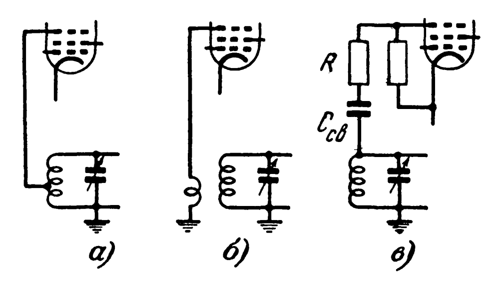
Фиг. 4-10. Гетеродин с комбинированной индуктивно-емкостной обратной связью.

На стабильность как частоты, так и амплитуды оказывает большое влияние величина сопротивления утечки сетки R_c. Чем больше R_c, тем стабильнее работает гетеродин. Но при чрезмерном увеличении R_c возникает прерывистая генерация. Поэтому для каждой лампы существует наивыгоднейшее значение R_c в схеме гетеродина, указываемое в таблицах рекомендуемых режимов. Для сетевых ламп R_c не превышает 0,1 *мгом*, а для батарейных оно достигает 0,2—0,3 *мгом.*

Связь со смесителем. Элементы связи гетеродина со смесителем должны решать две задачи: 1) подачу на смеситель колебаний необходимой амплитуды и 2) обеспечение возможно меньшего обратного влияния режима работы смесителя на работу гетеродина. Так как амплитуда колебаний гетеродина обычно превосходит необходимое для гетеродинной сетки смесителя напряжение, то это позволяет применить относительно слабую связь между гетеродином и смесителем и тем самым удовлетворить второе требование. Практически это выполняется присоединением гетеродинной сетки смесителя к небольшой части витков контурной катушки гетеродина (фиг. 4-11,*а*), применением индуктивной связи с ге-

теродином (фиг. 4-11,*б*) или схемой реостатно-емкостной связи (фиг. 4-11,*в*), на которой мы остановимся особо.

Включение в цепь связи небольшого последовательного сопротивления *R* в определенной мере ослабляет влияние на контур гетеродина междуэлектродной емкости смесителя, которая изменяется при его работе, и тем самым может заметно изменять частоту гетеродина. Кроме того, образуя вместе с междуэлектродной емкостью $C_{с\text{-}к}$ (емкость сетка—



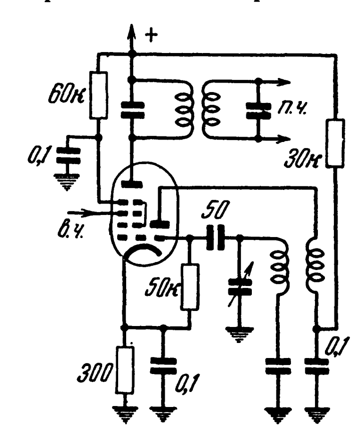
Фиг. 4-11. Схема связи гетеродина со смесителем.

катод) смесителя реостатно-емкостный делитель, оно, во-первых, ослабляет амплитуду колебаний на гетеродинной сетке в начале каждого диапазона, компенсируя этим свойственное гетеродину повышение генерируемого напряжения на этом участке, и, во-вторых, снижает напряжение гармоник, поступающих к смесителю от гетеродина, и этим в большой мере ослабляет помехи, создаваемые свистами. Величину сопротивления *R* лучше всего подбирать практически; обычно она выбирается порядка 50—300 *ом*. Емкость $C_{св}$ должна быть возможно меньшей (5—20 *пф*).

Одноламповый преобразователь частоты. Одноламповое преобразование частоты осуществляется с помощью специальных ламп, выполняющих одновременно функции смесителя и гетеродина. Хотя оно и уступает в отношении стабильности частоты схеме с отдельным гетеродином, но тем не менее широко применяется в целях удешевления конструкции.

Преобразование частоты на сдвоенной лампе (фиг. 4-12). Для этой цели применяют специальные комбинированные лампы: триод-гексоды и триод-пентоды. Преобразователь на триод-гексоде работает несколько хуже, чем на двух самостоятельных лампах, потому что связь между гетеродином и смесителем определена конструкцией лампы, где управляющая сетка триода соединена с гетеродинной сеткой гексода внутри баллона. Однако, включая гетеродинный контур в анодную цепь триода, удается несколько ослабить влияние смесительной части лампы на гетеродинную.

Преобразователи на гептодах. Две разновидности гептодов, предназначенных для однолампового преобразования частоты, представляют, с одной стороны, лампы 6А8 и СО-242, а с другой — 6А7 и 1А1П. Первые две снабжены гетеродинной сеткой (ближайшая к катоду), вслед за которой помещены: электрод (обозначаемый на схемах в виде сетки), выполняющий роль анода гетеродина, и отделен-



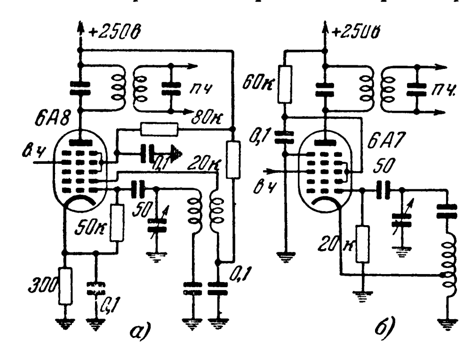
Фиг. 4-12. Схема преобразователя с комбинированной лампой.

ная от анода гетеродина и от главного анода двумя экранными сетками управляющая сетка, на которую подаются принимаемые колебания. У гептодов 6А7 и 1А1П специальный электрод, выполняющий роль анода гетеродина, отсутствует; эту функцию здесь выполняет экранная сетка, но за счет этого перед главным анодом этих ламп помещена защитная сетка. Во всех четырех лампах катод вместе с первыми двумя сетками надо рассматривать как трехэлектродную лампу, способную работать в качестве гетеродина по той или иной схеме. У ламп 6А8 и СО-242 эта часть электродов может работать в любой генераторной схеме, хотя обычно отдают предпочтение схеме с индуктивной обратной связью (фиг. 4-13,*а*). У ламп 6А7 и 1А1П, у которых в качестве анода гетеродина используется экранная сетка (вторая сетка от катода), последняя не должна находиться под переменным напряжением, так как тогда она потеряет экранирующее действие. Поэтому гетеродинная часть этих ламп включается по трехточечной схеме с индуктивной обратной связью в цепи катода (фиг. 4-13,*б*).

Как указывалось, трехточечной схеме свойственна более высокая стабильность работы. Поэтому, а также в связи с более совершенной

конструкцией ламп 6А7 и 1А1П преобразователи, собираемые по схеме фиг. 4-13,*б*, работают устойчивее, создают меньше свистов и генерируют на более высоких частотах, чем преобразователи на лампах 6А8 и СО-242.

Для схем однолампового преобразования частоты на гептодах выбор сопротивления утечки сетки и рабочего режима предопределен

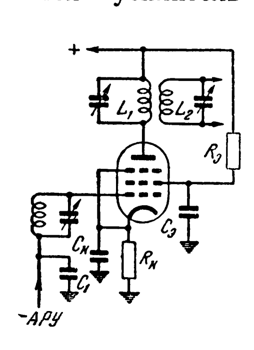


Фиг. 4-13. Схемы преобразователей на гептодах.

типовыми табличными данными, и отклонение от этих данных приводит к ухудшению работы преобразователя. Для повышения стабильности гетеродина можно снизить (в ущерб усилению) напряжения на экранных сетках и анодах до 100—120 *в*.

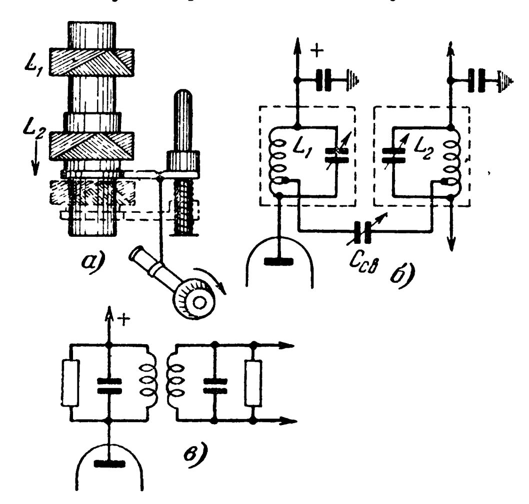
3. УСИЛИТЕЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Полосовой усилитель. В качестве усилителя промежуточной частоты наиболее часто применяется усилитель с полосовым фильтром (фиг. 4-14). На практике наиболее распространены полосовые фильтры из двух индуктивно связанных колебательных контуров. Подстройка контуров чаще всего осуществляется высокочастотными сердечниками. Изменение степени связи между контурами обычно не предусматривается. Ее можно изменить раздвинув или сблизив катушки, что в некоторых полосовых фильтрах умышленно предусматривается для регулирования связи в целях изменения ширины полосы пропускаемых частот (фиг. 4-15,*а*). С этой же целью применяют иногда полосовые фильтры с емкостной связью, в которых степень связи регулируется изменением емкости конденсатора $C_{св}$, осуществляющего связь между двумя



Фиг. 4-14. Схема усилителя промежуточной частоты с полосовым фильтром (данные схемы см. в табл. 4-1 и 4-2).

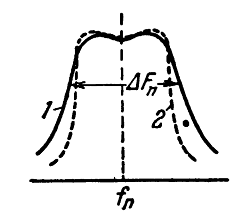
экранированными друг от друга колебательными контурами (фиг. 4-15,*б*). Расширение полосы пропускаемых частот может быть достигнуто также путем увеличения затухания конту-



Фиг. 4-15. Методы регулирования в усилителях промежуточной частоты полосы пропускаемых частот.

ров, для чего достаточно шунтировать их сопротивлениями (фиг. 4-15,*в*). Этот способ применяют, например, в усилителях промежуточной частоты видеоканала телевизионного приемника.

Вообще ширина полосы пропускаемых частот прямо пропорциональна величине промежуточной частоты и обратно пропорциональна емкости контура. В однокаскадном усилителе полоса пропускаемых им частот равна полосе частот, пропускаемых включенным в анодную цепь полосовым фильтром. При увеличении числа каскадов эта полоса ΔF_n сужается незначительно, но избирательность по соседним частотам, лежащим выше и ниже полосы ΔF_n, резко возрастет, так как становятся все более крутыми срезы резонансной кривой на крайних частотах (фиг. 4-16). Коэффициент усиления усилителей с полосовыми фильтрами зависит от степени связи контуров и в радиовещательных приемниках он составляет 0,4 — 0,5 значения, рассчитанного по формуле (4-1), если в качестве Z_a подставить резонансное сопротив-

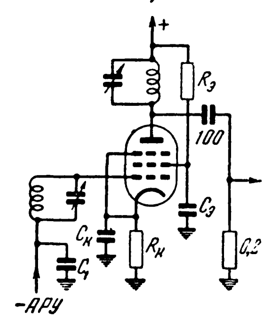


Фиг. 4-16. Кривые избирательности усилителя промежуточной частоты с полосовыми фильтрами.

1 — однокаскадного усилителя; *2* — двухкаскадного усилителя.

ление первого контура, вычисленное в отсутствии второго контура по формуле (3-64) или (3-65).

Резонансный усилитель с одиночным контуром. Одноконтурный усилитель (фиг. 4-17) обладает тем преимуществом в сравнении с полосовым, что он дает несколько большее усиление. Поэтому он находит применение в батарейных приемниках, в дешевых сетевых, а также в приемниках, снабженных малочувствительной антенной (рамочной или штыревой), где необходимо особенно большое усиление. Однако избирательность и равномерность усиления боковых частот у него меньше, чем у усилителя с полосовым фильтром.

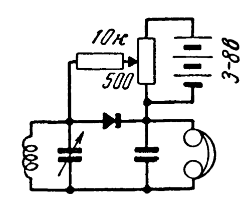


Фиг. 4-17. Одноконтурный усилитель промежуточной частоты (данные схемы см. в табл. 4-1 и 4-2).

Увеличение числа каскадов с одиночными контурами (если не создать искусственного затухания или не расстроить их один относительно другого) приводит к резкому сужению полосы частот, что в радиовещательных приемниках нежелательно. Кроме того, случайная расстройка одного из контуров, например при смене ламп, в одноконтурном усилителе оказывает значительно большее влияние на резонансную кривую усилителя в целом, чем при применении полосовых фильтров.

4. ДЕТЕКТОР

Кристаллический детектор. В детекторных приемниках, а также в ультравысокочастотной аппаратуре для преобразования модулированных колебаний высокой частоты в низкочастотные колебания применяется кристаллический детектор, использующий одностороннюю проводимость точечного контакта между кристаллом и каким-либо проводником.



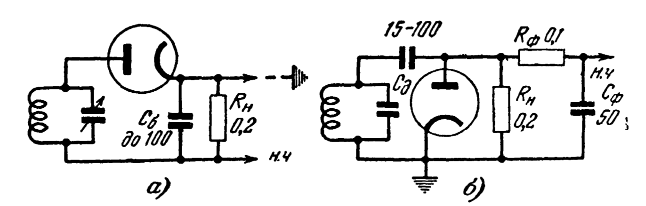
Фиг. 4-18. Схема кристаллического детектора с добавочным напряжением.

В настоящее время применяются кремневые детекторы, состоящие из получаемого искусственным путем кристаллического материала силикона и пружинки из стали или меди, а также германиевые детекторы, состоящие из пластинки германия и металлического острия.

Многие кристаллические детекторы заметно повышают свою чувствительность при введении в их цепь небольшого постоянного напряжения (фиг. 4-18), причем как величина, так и полярность его включения не безразличны.

Диодный детектор. Диодный детектор использует выпрямительные свойства двухэлектродной лампы. Два варианта схемы диодного детектора представлены на фиг. 4-19. Сглаживание высокочастотной пульсации в схеме фиг. 4-19,*а* производится конденсатором малой емкости, присоединенным параллельно нагрузочному сопротивлению, а в схеме фиг. 4-19,*б* — ячейкой $R_ф$ $C_ф$.

Чрезмерное увеличение емкости сглаживающего конденсатора приводит к срезанию



Фиг. 4-19. Диодный детектор.
а — последовательная схема; *б* — параллельная схема

верхних частот в передаче и ухудшает режим детектирования. Поэтому конденсатор $C_б$ (фиг. 4-19,*а*) берется емкостью не более 100 *пф*. Сопротивление $R_н$ в радиовещательных приемниках выбирают из условия, чтобы постоянная времени цепи $C_б R_н$ была не больше 10^{-4} сек., обычно же

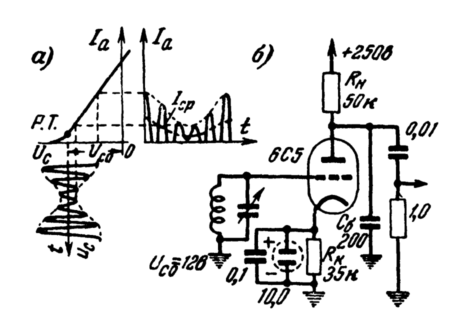
$$R_н \approx \frac{20}{C_б}, \qquad (4\text{-}8)$$

где $R_н$ — в *мгом* и $C_б$ — в *пф*.

Таким же образом выбирают детали $C_д$ и $R_н$ в схеме фиг. 4-19,*б*. Надо учитывать, что к конденсаторам $C_б$ и $C_ф$ присоединена параллельно междуэлектродная емкость лампы и емкость монтажа, которая при использовании длинных экранированных проводов, идущих к регулятору громкости, может оказаться относительно большой (до 50 *пф*).

Диодное детектирование обеспечивает наименьшие искажения, но обладает малой чувствительностью: для нормальной работы к нему должно подводиться высокочастотное напряжение не ниже 0,5 *в*. Поэтому диодный детектор применяется главным образом в супергетеродинных приемниках, где детектированию предшествует значительное усиление по промежуточной частоте.

Анодное детектирование. Более чувствительным является анодное детектирование, использующее рабочую точку в области нижнего изгиба сеточной характеристики триода или пентода (фиг. 4-20,*а*). При таком выборе рабочей точки среднее значение анодного тока определяется почти исключительно его положительными полупериодами и изменяется со звуковой частотой. Для сглаживания высокочастотной составляющей служит блокировочный конденсатор $C_б$ (фиг. 4-20,*б*), емкость которого опре-



Фиг. 4-20. Анодное детектирование.
а — принцип детектирования; *б* — схема детектора.

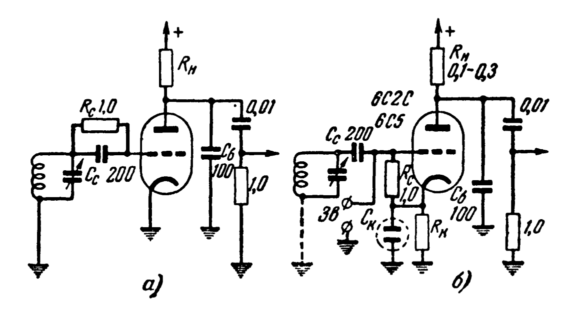
деляют формулой (4-8) по заданной величине нагрузочного сопротивления $R_н$.

Анодный детектор хорошо работает при напряжении сигнала от 0,1 *в* и выше, но детектирует, хотя и хуже, и при меньших напряжениях. При анодном детектировании лампа не только детектирует, но и усиливает приходящие сигналы. При большом отрицательном напряжении на управляющей сетке лампа вносит минимальное затухание в сеточный контур. Этим анодное детектирование выгодно отличается от диодного и от сеточного (см. ниже).

Сеточное смещение может быть фиксированным (от отдельной батареи или от сопротивления, включенного в общую анодную цепь всех ламп), или автоматическим (за счет падения напряжения на сопротивлении в цепи катода детектора). В последнем случае величина сопротивления рассчитывается по закону Ома в соответствии с выбранной рабочей точкой. По этому же закону определяется и падение напряжения на анодном сопротивлении (в целях определения истинного напряжения на аноде лампы для выбора соответствующей кривой в семействе характеристик) и сопротивление в цепи экранной сетки лампы. Катод при наличии в его цепи сопротивления, а также экранная сетка лампы должны быть (для предотвращения выделения в их цепях напряжения низкой частоты) заземлены через конденсаторы большой емкости.

Сеточный детектор. Наибольшей чувствительностью и пригодностью для детектирования слабых сигналов обладает детектор, представляющий по сути дела сочетание диодного детектора и усилителя низкой частоты. Он реагирует на напряжения порядка сотых долей вольта и меньше. При больших детектируемых напряжениях он дает искажения.

Включенная в цепь сетки по схеме фиг. 4-21,*а* или *б* комбинация $R_c C_c$ является нагрузочным сопротивлением, на которое работает промежуток сетка—катод в каче-



Фиг. 4-21. Сеточный детектор.

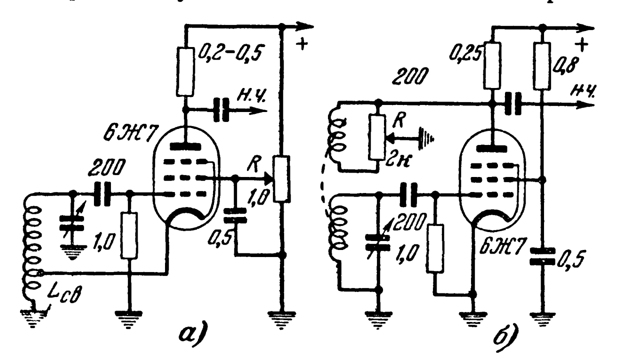
стве диодного детектора. Выделенное на сопротивлении R_c напряжение низкой частоты оказывается приложенным к управляющей сетке лампы и усиливается ею.

Отрицательное смещение подавать на управляющую сетку сеточного детектора нельзя, ибо оно заперло бы диод, составленный сеткой—катодом, и детектирование прекратилось бы. Если по каким-либо соображениям, например для использования детекторной лампы в качестве усилителя низкой частоты при работе от звукоснимателя, все же необходимо включить в цепь катода сопротивление смещения, то сопротивление утечки сетки R_c должно присоединяться только по схеме фиг. 4-21,*б*, чтобы при работе лампы детектором напряжение смещения не попадало на сетку.

Сеточный детектор применяется преимущественно в приемниках прямого усиления.

Регенеративный детектор. Регенеративный детектор — это чаще всего сеточный детектор с введенной в его схему положительной обратной связью. Проникающая в нагрузочное сопротивление детектора высокочастотная составляющая колебаний при возвращении ее в цепь сетки с фазой, совпадающей с фазой первоначально приложенного к сетке переменного напряжения, увеличивает чувствительность детектора и этим вызывает эффект, соответствующий увеличению усиления. Если обратную

связь довести почти до порога генерации, то наблюдается очень резкое увеличение усиления. Хорошо налаженный регенеративный детектор дает усиление в несколько сот раз и

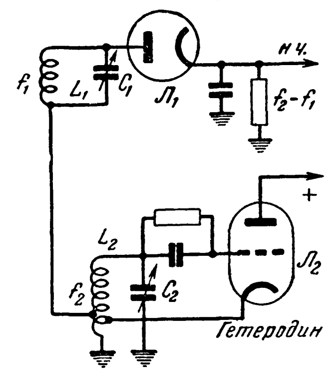


Фиг. 4-22. Схемы регенеративных детекторов.

В схеме *б* регулирование связи осуществляется либо потенциометром *R*, либо изменением взаимного расположения катушек (пунктирная стрелка).

воспринимает сигналы с амплитудой менее 1 *мв*.

Лучшими схемами регенеративных детекторов считаются те, которые обеспечивают плавный подход к порогу генерации, например схемы на фиг. 4-22. Более плавное регулирование обратной связи всегда получается при невысоких напряжениях на аноде и экранной сетке лампы.



Фиг. 4-23. Гетеродинный детектор.

Пользование обратной связью требует известной осмотрительности, так как, самовозбудившись, регенеративный детектор создает для близрасположенных радиоприемников сильные помехи в виде свистов.

Гетеродинный детектор. Гетеродинный детектор служит для приема на слух незатухающих (немодулированных) телеграфных сигналов.

Одна из схемы гетеродинного детектирования представлена на фиг. 4-23. Из колебательного контура L_1C_1 к диодному детектору подаются незатухающие телеграфные колебания частоты f_1. К тому же детектору подводятся колебания частоты f_2, на которую настроен колебательный контур L_2C_2 гетеродина. В результате последовательного соединения контура L_1C_1 и части витков катушки L_2 напряжения обеих частот смешиваются и образуют биения, которые после детектирования дадут колебания с частотой $f_2—f_1$. Если эта разность частот будет низкой (звуковой), то она может быть воспроизведена громкоговорителем или телефонными трубками.

5. УСИЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Основные качественные показатели усилителей напряжения низкой частоты. Усилителями напряжения низкой частоты называются каскады, обеспечивающие увеличение напряжения сигнала до величины, необходимой для приведения в действие мощного каскада. В радиоприемниках обычно все каскады усиления низкой частоты, кроме оконечного, являются усилителями напряжения, но если сеточная цепь оконечного каскада расходует заметную мощность (от 0,1 *вт* и выше), то раскачивающий его предоконечный каскад тоже ставится в режим усилителя мощности.

Основной характеристикой усилителя напряжения является коэффициент усиления, показывающий, во сколько раз напряжение сигнала на выходе усилителя больше напряжения сигнала, подведенного к его входу:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}. \qquad (4\text{-}9)$$

Пример. Для приведения в действие оконечного каскада на лампе 6П3С требуется напряжение 14 *в*. Усилитель предназначен для работы от звукоснимателя, развивающего напряжение 100 *мв* = 0,1 *в*. Определить необходимый коэффициент усиления предварительного усилителя.

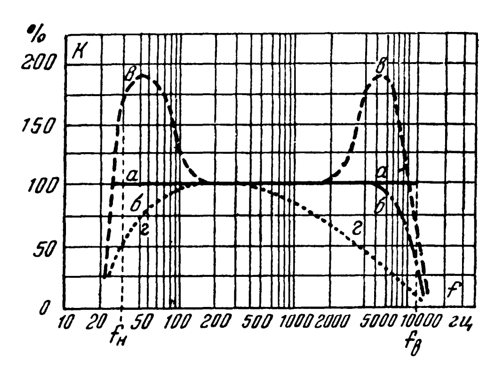
По формуле (4-9) находим $K = \frac{14}{0{,}1} = 140$.

Если необходимый коэффициент усиления не может быть обеспечен одним каскадом, то усилитель напряжения составляют из двух или большего числа каскадов. Общий коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов отдельных его каскадов:

$$K_{общ} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3. \qquad (4\text{-}10)$$

Зависимость коэффициента усиления от частоты выражается частотной характеристикой (фиг. 4-24). Для получения наи-

меньших искажений необходимо обеспечить одинаковое усиление на всех частотах, подлежащих звуковому воспроизведению, т. е. частотная характеристика в пределах от низшей усиливаемой частоты $f_н$ до высшей усиливаемой частоты $f_в$ должна изображаться прямой горизонтальной линией (кривая *а*). Но в целях компенсации искажений в других звеньях радиоаппаратуры и электроакустических приборах (микрофонах, звукоснимателях, громко-



Фиг. 4-24. Частотная характеристика усилителя низкой частоты.

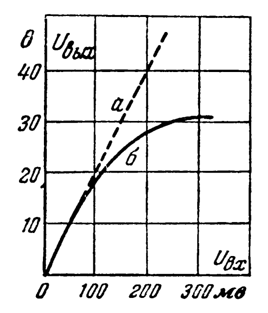
а — идеальная характеристика, *б* — реальная характеристика; *в* и *г* — специальные характеристики.

говорителях, звукозаписывающих системах), а также для улучшения субъективного восприятия радиопередачи часто умышленно искажают идеальную форму частотной характеристики: создают искусственный подъем усиления на низших и высших частотах (кривая *в*), так как именно они подвергаются наибольшему ослаблению в других звеньях (особенно при звукозаписи и в громкоговорителях) или же срезают наиболее высокие частоты (кривая *г*), которые при приеме радиопередач служат источником наибольших шумов.

Коэффициент усиления у низкочастотных усилителей принято условно указывать применительно к частоте сигнала в 400 *гц*.

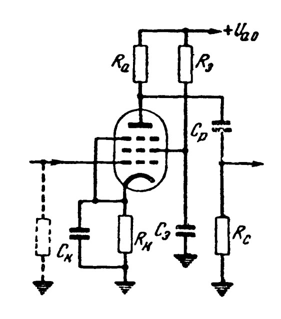
Третьим показателем, определяющим качество работы усилителя низкой частоты, является его амплитудная характеристика, которая показывает неравномерность усиления сигналов различных амплитуд (фиг. 4-25). Из графика фиг. 4-25 видно, например, что сигнал напряжением 100 *мв* усиливается в 180 раз, в то время как сигнал с амплитудой 200 *мв* усилится только в 140 раз. Нелинейность амплитудной характеристики приводит к искажению формы усиливаемых колебаний, т. е. к изменению состава гармоник в них, и сказывается в появлении неприятного тембра звуков. Эти нелинейные искажения определяются коэффициентом нелинейных искажений (коэффициентом гармоник), который указывает (в процентах), какую долю выходного напряжения при усилении чисто синусоидального колебания составляет суммарное напряжение гармоник, появившихся в результате нелинейности амплитудной характеристики усилителя.

Усилитель на сопротивлениях. Усилитель на сопротивлениях наиболее распространен, так как применение активных сопротивлений, не



Фиг. 4-25. Амплитудная характеристика усилителя низкой частоты.

а — идеальная характеристика; *б* — реальная характеристика.



Фиг. 4-26. Усилитель низкой частоты на сопротивлениях.

зависящих от частоты, позволяет получать достаточно равномерное усиление в широкой полосе частот с максимальным упрощением и удешевлением конструкции усилителя.

Для получения наибольшего усиления нужно увеличить по возможности анодное сопротивление R_a и шунтирующее его сопротивление утечки сетки R_c следующего каскада (фиг. 4-26).

Но чрезмерное увеличение R_a и R_c приводит к увеличению зависящего от частоты шунтирующего действия междуэлектродных емкостей лампы и емкости монтажа. Это вызывает ослабление усиления наиболее высоких частот в усиливаемом спектре. Ослабление усиления в области низших частот может получиться за счет недостаточной емкости конденсатора связи C_p, подающего усиленное лампой напряжение к следующему каскаду.

В усилителях низкой частоты на сопротивлениях для получения большего коэффициента усиления рационально применять высокочастотные пентоды с обычной (неудлиненной) характеристикой (6Ж7, 6Ж8). Несколько меньшее усиление дают триоды с большим значением μ (6Г2, 6Г7, 6Ф5). Еще меньшее усиление, но в то же время и меньшие искажения дают триоды с небольшим μ (6С2С, 6С5). Стандартные данные сопротивлений и конден-

Таблица 4-3

Типовые данные усилителя низкой частоты на сопротивлениях

Лампы	Величины	При U_{a0} = 90 *в*		При U_{a0} = 180 *в*		При U_{a0} = 300 *в*	
6С2С, 6Н8С	R_a, *мгом*	0,05	0,25	0,05	0,25	0,05	0,25
	R_c, *мгом*	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
	$R_к$, *ком*	2,07	9,76	1,49	7	1,27	5,77
	$C_к$, *мкф*	2,66	0,55	2,86	0,62	2,96	0,64
	C_p, *мкф*	0,029	0,007	0,032	0,007	0,034	0,0075
	K	12	13	13	14	14	14
6Г2	R_a, *мгом*	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
	R_c, *мгом*	0,25	1	0,25	1	0,25	1
	$R_к$, *ком*	6,6	16,6	2,9	8	2,2	6,1
	$C_к$, *мкф*	1,7	0,7	2,9	1,1	3,5	1,3
	C_p, *мкф*	0,01	0,003	0,015	0,004	0,015	0,004
	K	29	44	36	57	39	60
6Г7	R_a, *мгом*	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
	R_c, *мгом*	0,25	1	0,25	1	0,25	1
	$R_к$, *ком*	4,2	12,3	1,9	7,1	1,5	5,5
	$C_к$, *мкф*	1,7	0,6	2,5	0,76	3,6	0,9
	C_p, *мкф*	0,01	0,003	0,01	0,003	0,015	0,004
	K	28	33	33	40	39	46
6Ж7	R_a, *мгом*	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
	R_c, *мгом*	0,25	1	0,25	1	0,25	1
	$R_э$, *мгом*	0,44	2,6	0,5	2,9	0,5	2,9
	$R_к$, *ком*	1,1	5,5	0,75	3,1	0,45	2,2
	$C_э$, *мкф*	0,05	0,05	0,05	0,025	0,07	0,04
	$C_к$, *мкф*	5,3	2	6,7	2,5	8,3	4,1
	C_p, *мкф*	0,01	0,0025	0,01	0,0025	0,01	0,003
	K	55	120	69	165	82	350
6Ж8	R_a, *мгом*	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
	R_c, *мгом*	0,25	1	0,25	1	0,25	1
	$R_э$, *мгом*	0,29	1,7	0,31	2,2	0,37	2,2
	$R_к$, *ком*	0,88	3,8	0,8	2,18	0,53	1,41
	$C_э$, *мкф*	0,085	0,03	0,09	0,04	0,09	0,05
	$C_к$, *мкф*	7,4	2,4	8	3,8	10,9	5,8
	C_p, *мкф*	0,016	0,002	0,015	0,002	0,016	0,002
	K	68	119	82	192	98	238
6Б8С	R_a, *мгом*	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
	R_c, *мгом*	0,25	1	0,25	1	0,25	1
	$R_э$, *мгом*	0,5	2,8	0,5	2,8	0,55	2,9
	$R_к$, *ком*	2,2	6	1,2	3,5	1,1	2,5
	$C_э$, *мкф*	0,07	0,04	0,08	0,04	0,09	0,05
	$C_к$, *мкф*	3	1,55	4,4	2	5	2,3
	C_p, *мкф*	0,01	0,003	0,015	0,003	0,015	0,003
	K	33	85	41	115	47	150

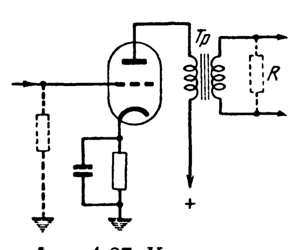
саторов для каскада усиления низкой частоты с лампами наиболее распространенных типов (при различных режимах) приведены в табл. 4-3. Там же приведены соответствующие значения коэффициентов усиления K.

По поводу емкости конденсатора $C_к$ надо отметить, что для получения хорошей частотной характеристики в области наиболее низких частот в большинстве случаев бывает вполне достаточна емкость порядка 2—5 *мкф*. Но для предотвращения возможности наводки фона переменного тока с нити накала на катод емкость конденсатора $C_к$ часто увеличивают до 25 *мкф*.

Дроссельный усилитель. От усилителя на сопротивлениях дроссельный усилитель отличается тем, что в качестве нагрузочного сопротивления у него вместо активного сопротивления используется дроссель низкой частоты. Такая замена повышает поступающее на анод лампы напряжение, так как сопротивление обмотки дросселя постоянному току мало, и позволяет получить от каскада большее усиление.

Недостатком дроссельного усилителя является трудность получения равномерной частотной характеристики, поэтому усилители по этой схеме в настоящее время почти не применяются. В усилителе индуктивность дросселя и емкость конденсатора связи со следующим каскадом могут создать резонанс (в области низших частот) и тем поднять на них усиление. Но иногда этот резонанс подавляют, для чего обмотку дросселя шунтируют сопротивлением порядка 0,2—0,3 *мгом* или меньше. В области высших частот дроссельный усилитель обычно снижает усиление из-за шунтирующего действия собственной емкости обмотки (в целях уменьшения этой емкости обмотку дросселя секционируют разделением каркаса на 6—10 узких отсеков).

Трансформаторный усилитель. Такой усилитель (фиг. 4-27) выгодно отличается от описанных выше тем, что он позволяет получить от каскада больший коэффициент усиления, чем коэффициент усиления лампы. Но свойства индуктивностей и собственных емкостей обмоток, как и в дроссельном усилителе, затрудняют получение равномерного усиления на различных частотах. Для улучшения усиления на низших частотах необходима большая индуктивность первичной обмотки (50 — 200 *гн*); она должна быть тем больше, чем ниже подлежащая равномерному усилению низшая частота и чем больше внутреннее сопротивление лампы R_i. Поэтому для трансформаторного усилителя предпочтительно применять триоды с малым R_i, т. е. с малым μ (порядка 14—30). В области высших частот имеет место подъем усиления, обусловленный резонансом, создаваемым емкостью вторичной цепи и индуктивностью рассеяния, которая зависит от конструкции трансформатора. При необходимости подавить или ослабить этот резонанс вторичную обмотку трансформатора нагружают сопротивлением R, величина которого может колебаться от десятков килоом до 2 — 3 *мгом*.



Фиг. 4-27. Усилитель низкой частоты на трансформаторе.

Коэффициент усиления каскада с трансформатором на средних частотах при отсутствии сопротивления R или достаточно большой величине его определяется формулой

$$K \approx \mu \cdot n, \qquad (4\text{-}11)$$

где μ — коэффициент усиления лампы, соответствующий выбранным U_a и U_c, а n — коэффициент трансформации повышающего трансформатора.

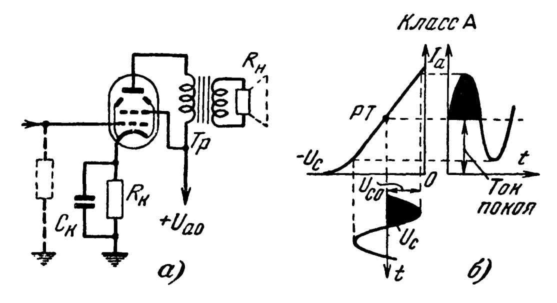
Увеличение n трансформатора приводит к искажениям на высших частотах, поэтому на практике выбирают n в пределах 2—4. Коэффициент n должен быть тем меньше, чем больше внутреннее сопротивление лампы и емкость вторичной цепи и чем выше подлежащая усилению наибольшая верхняя частота.

6. УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Общие замечания. Для приведения в действие громкоговорителей оконечные каскады радиоприемников индивидуального пользования должны отдавать в среднем 1—3 *вт* мощности, усилители звукового кино и небольшие трансляционные установки отдают десятки ватт мощности, а у усилителей трансляционных узлов и станций мощность исчисляется сотнями и тысячами ватт.

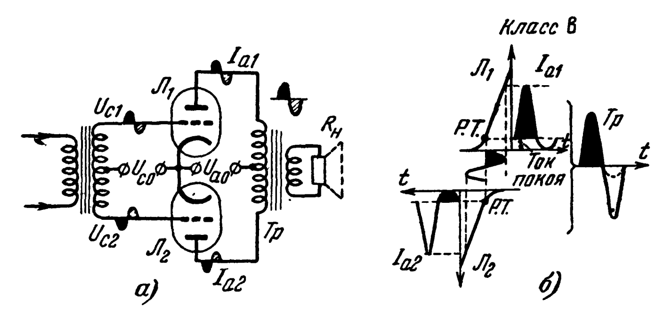
Для создания такой мощности применяются специальные лампы, допускающие подачу больших амплитуд на сетку и рассчитанные на большой анодный ток. Чем больше должна быть выходная мощность, тем большее напряжение должно подводиться к сетке лампы усилителя мощности. В связи с этим для предотвращения сеточных токов характеристики лампы должны уходить далеко в область отрицательных сеточных напряжений. Для триодов это возможно только при малых значениях

коэффициента усиления μ. Следовательно, триодные усилители мощности не могут давать значительного усиления напряжения. Более выгодны для усиления мощности низкочастотные пентоды и тетроды, у которых большая выходная мощность сочетается с более высоким значением μ, чем у триодов.



Фиг. 4-28. Однотактный усилитель.

В радиоприемниках оконечные триоды обычно требуют двух каскадов предварительного усиления напряжения, а пентоды и лучевые тетроды — лишь одного каскада. Известны также специальные высокочувствительные оконечные пентоды с большими значениями μ и S (например, 6П9), которые могут работать непосредственно от напряжения, полученного после диодного детектора.



Фиг. 4-29. Двухтактный усилитель.

Чтобы получить от лампы наибольшую полезную мощность при незначительных искажениях, необходимо согласовать сопротивление нагрузки с внутренним сопротивлением лампы. В связи с этим усилители мощности работают большей частью по схеме трансформаторного усиления, где анодный трансформатор и осуществляет необходимое согласование сопротивлений.

Кроме однотактной схемы (фиг. 4-28,*а*), в принципе не отличающейся от рассмотренной раньше схемы трансформаторного усилителя напряжения, в каскадах мощного усиления находит широкое применение двухтактная схема (фиг. 4-29,*а*). В этой схеме переменные напряжения подводятся к сеткам двух ламп в противоположной полярности: когда на сетку одной лампы действует положительный полупериод, на сетку другой лампы поступает колебание такой же формы, но с отрицательной полярностью. Поэтому, если ток верхней по схеме лампы увеличивается, то у нижней он по тому же закону уменьшается.

Двухтактные усилители обладают рядом преимуществ перед однотактными: 1) они не вводят четных гармоник усиливаемого сигнала; 2) уменьшение нелинейных искажений, вызываемых четными гармониками, дает возможность применять большие смещения и большие амплитуды напряжения сигнала, т. е. получать бóльшие мощности; 3) пульсации анодного напряжения подаются на обе лампы в одинаковой фазе и влияние их взаимно компенсируется; 4) отсутствует насыщение сердечника постоянными составляющими выходного тока, что позволяет применять трансформаторы с сердечниками сравнительно небольших размеров; 5) переменные составляющие обеих ламп компенсируются в сопротивлении источника анодного напряжения и тем самым уменьшается опасность возникновения паразитной связи между каскадами, а следовательно, и генерации.

Мощность, развиваемая двухтактным усилителем, при равных прочих условиях вдвое больше мощности однотактного усилителя. Существуют схемы, позволяющие получить от двухтактного усилителя мощность даже в 4 раза бóльшую, чем от однотактного усилителя с такой же лампой.

Если выходная мощность не очень велика (до 10—15 *вт*), то с экономичностью усилителя, питаемого от электросети, не считаются, и, желая получить наименьшие искажения, часто применяют усиление мощности в режиме класса А, при котором рабочая точка выбирается посередине прямолинейного участка характеристики (фиг. 4-28,*б*). Но при мощностях более 10 *вт* и даже при меньших, если питание осуществляется от аккумуляторов или батарей, вопрос экономичности питания приобретает существенное значение. В этом случае применяют усиление в режиме класса В, возможное только при двухтактном включении ламп.

Отрицательные сеточные смещения выбираются в режиме класса В значительно большие, чем в режиме класса А, вследствие чего рабочая точка располагается так, что ток покоя получается очень незначительным. При двухтактном включении ламп это можно допустить, не опасаясь сильных искажений, потому что,

управляя каждой из ламп только в течение одного полупериода, в анодном трансформаторе оба полупериода совмещаются в полное колебание (фиг. 4-29,*б*). Таким образом, можно сдвинуть рабочую точку далеко к нижнему изгибу характеристики и тем самым значительно уменьшить расход тока при отсутствии переменного напряжения на сетке. По мере увеличения последнего возрастает соответственно и среднее значение анодного тока обеих ламп. Усилители класса В требуют постоянного, не зависящего от изменений анодного тока ламп напряжения смещения на сетке, вследствие чего подача смещения от сопротивления, включенного в цепь катода, в них не применяется. У усилителей класса В лучше всего подавать сеточное смещение от отдельного выпрямителя.

Для оконечных каскадов экономичных приемников, например батарейных и автомобильных, существуют лампы, работающие в двухтактной схеме при нулевом начальном смещении на сетке, т. е. с заходом в область сеточных токов (например, двойные триоды 6Н7С и СО-243). Благодаря особой конструкции управляющих сеток этих ламп уже при нуле напряжения на их сетке анодный ток их достаточно мал. Рабочий участок характеристики у них располагается правее нуля в области положительных напряжений на сетке, в связи с чем такие лампы называют триодами с правой характеристикой или просто правыми триодами.

Усиление в режиме класса В на тетродах или пентодах сопряжено с большими искажениями, так как у этих ламп обычно начало характеристики имеет слишком длинный криволинейный участок. Поэтому у тетродов и пентодов рабочую точку сдвигают не так далеко, как у триодов, и получают режим усиления АВ, занимающий промежуточное положение между классами А и В. Этот режим осуществим только при двухтактном усилении, так как в одной лампе отрицательные полупериоды заметно ослабляются, зато во второй лампе отрицательный полупериод подается на ее сетку с обратной полярностью (в виде положительного) и усиливается ею без искажений (фиг. 4-29,*б*). Поскольку в режиме класса АВ рабочая точка выбирается в нижней части прямолинейного участка характеристики, то усиление слабых сигналов происходит в режиме класса А, а сильных — в режиме класса В. Это способствует уменьшению искажений при малой амплитуде сигнала на сетках, которые свойственны усилителю класса В, и в то же время обеспечивает высокую экономичность питания и большую выходную мощность при больших амплитудах усиливаемых сигналов.

Усиление в режиме класса АВ подразделяется на $АВ_2$ и $АВ_1$. Режим класса $АВ_2$ предусматривает отдачу особенно большой мощности и допускает работу с заходом амплитуд сеточного напряжения в область сеточных токов. Усиление в режиме класса $АВ_2$ подобно усилению в режиме класса В осуществляется при фиксированном независимом напряжении сеточного смещения, так что рабочая точка имеет постоянное положение на характеристике. В режиме класса $АВ_1$ (при несколько меньшем начальном смещении) допускается подача напряжения сеточного смещения от сопротивления в цепи катода. Тогда с увеличением амплитуды сигнала и ростом среднего значения анодного тока смещение возрастает и в известной мере расширяет пределы использования лампы. Но для получения наибольшей мощности безусловно выгоднее режим класса $АВ_2$ с применением фиксированного смещения.

Очень существенным обстоятельством является то, что при работе лампы в режиме класса $АВ_2$ и класса В в цепи сетки лампы проходит ток, а следовательно, в ней расходуется некоторая мощность. Отсюда появляются и особые требования к предшествующему каскаду: хотя он является и предварительным, но должен в то же время развивать определенную мощность, необходимую для питания цепи сетки оконечного каскада. Чтобы отличить такой каскад предварительного усиления от обычного усилителя напряжения, его называют часто предоконечным.

Правильный выбор режима усилителя мощности, имеющий целью получение наибольшей выходной мощности при наименьших искажениях или достижение наибольшей экономичности усилителя, довольно сложен и требует известных навыков в оперировании уравнениями и графиками. Поэтому ниже приводится табл. 4-4 с типовыми режимами для основных оконечных ламп.

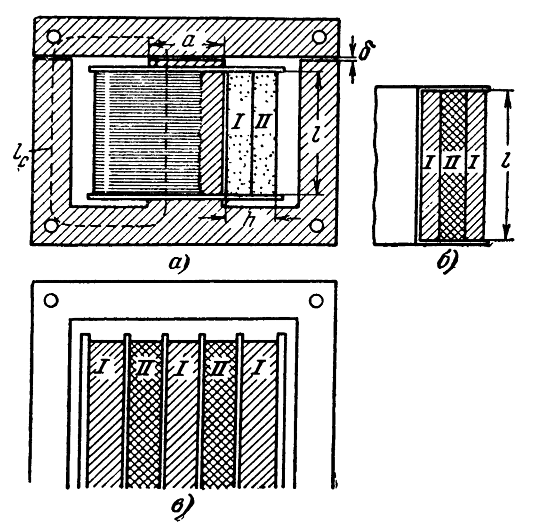
Выходной трансформатор однотактного усилителя. Коэффициент трансформации выбирается из условий приведения сопротивления нагрузки к величине, требуемой выбранным режимом оконечной лампы. Согласно формуле (3-60б) коэффициент трансформации $n = \sqrt{\frac{R_a}{R_н}}$. Применительно к выходному трансформатору в качестве $R_н$ надо подставлять сопротивление переменному току звуковой катушки громкоговорителя (на 20% больше ее сопротивления постоянному току),

Таблица 4-4

Типовые режимы оконечных ламп

Лампы	6С4С		6П6С		6Ф6С		6П3С	
Класс	А	AB_1^*	А	AB_1^*	А	А*	А	А*
U_{a0}, *в*	250	300	250	250	250	315	250	270
$U_э$, *в*	—	—	250	250	250	285	250	270
U_c, *в*	—45	—62	—12,5	—15	—16,5	—24	—14	—
I_{a0}, *ма*	60	80	45	70	34	62	72	134
$I_a+I_э$, *ма*	—	—	54	92	46,5	99,5	86,3	162
$I_э$, *ма*	—	—	4,5	5	6,5	12	5	11
$R_к$, *ом*	750	780	250	200	410	320	170	125
R_a, *ком*	2,5	3	5	10	7	10	2,5	5
$P_{вых}$, *вт*	3,5	15	4,5	10	3,2	11	6,5	18,5
$K_н$, %	5	2,5	8	5	8	4	10	2
U_c, *в*	45	120	12,5	30	16,5	48	14	40
$U_{вых}$, *в*	—	220	—	330	—	360	—	310

* Двухтактная схема (R_a — между анодами, U_c — амплитудное значение между сетками, $I_a+I_э$ — при максимальном сигнале на сетке, $U_{вых}$ — действующее значение, $K_н$ — коэффициент нелинейных искажений).



Фиг. 4-30. Конструкции обмоток выходного трансформатора.

а — несекционированные обмотки, *б* — перемежающиеся обмотки; *в* — секционированные обмотки.

а R_a — требуемое выбранным режимом сопротивление нагрузки оконечной лампы.

Индуктивность L_1 первичной обмотки трансформатора рассчитывается по приближенной формуле

$$L_1 \approx 0{,}2\frac{R_a}{f_н}, \tag{4-12}$$

где $f_н$ — низшая частота усиления.

Пример. Определить параметры выходного трансформатора для оконечного каскада на пентоде 6Ф6С, если сопротивление звуковой катушки громкоговорителя $R_н = 4$ *ом*, приведенное сопротивление нагрузки $R_a = 7\,000$ *ом* и низшая усиливаемая частота $f_н = 100$ *гц*.

По формуле (3-60б) находим $n = \sqrt{\frac{7\,000}{4}} = 42$ и по формуле (4-12) $L_1 \approx 0{,}2\frac{7\,000}{100} = 14$ *гн*.

На частотную характеристику в области наиболее высоких звуковых частот оказывает вредное влияние индуктивность рассеяния (параметр, зависящий от конструкции трансформатора и трудно рассчитываемый заранее). Для уменьшения величины индуктивности рассеяния в наиболее высококачественных конструкциях применяют перемежающуюся или секционированную обмотки (фиг. 4-30).

Конструктивный расчет выходного трансформатора. По заданным значениям n, L_1 и среднему значению постоянного тока I_{a0} в первичной обмотке производят расчет сердечника и обмоточных данных выходного трансформатора.

Площадь поперечного сечения S_c сердечника выходного трансформатора рассчитывается по формуле

$$S_c = 0{,}05 I_{a0}\sqrt{L_1}, \tag{4-13}$$

где S_c — в *см*^{2} и I_{a0} — в *ма*.

Пластины сердечника выбираются так, чтобы средняя длина магнитной силовой линии l_c (фиг. 4-30,*а*), выраженная в сантиметрах, не была меньше вычисленного по формуле (4-13) численного значения S_c. Кроме того, пластины должны быть разъемными, и необходимый зазор δ (в миллиметрах) при сборке сердечника определяется формулой

$$\delta = \frac{I_{a0}\cdot w_1}{14\cdot 10^5}, \tag{4-14}$$

где w_1 — число витков первичной обмотки трансформатора:

$$w_1 = 600\sqrt{\frac{L_1\cdot l_c}{S_c}}. \tag{4-15}$$

Толщина пакета пластин (в сантиметрах)

$$b = 1{,}1\frac{S_c}{a}, \tag{4-16}$$

где a — ширина центральной части пластины, *см*.

Диаметр провода первичной обмотки (в миллиметрах)

$$d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{I_{a0}}{\delta \cdot 1\,000}}, \qquad (4\text{-}17)$$

где δ (плотность тока) $= 2$ $а/мм^2$ и I_{a0} — в *ма*.

Число витков вторичной обмотки w_2 и диаметр ее провода d_2 рассчитываются по формулам

$$w_2 = \frac{w_1}{n}, \qquad (4\text{-}18)$$

$$d_2 = d_1\sqrt{n}. \qquad (4\text{-}19)$$

В заключение расчета проверяют, достаточна ли площадь окна выбранного типа пластин для размещения в нем обмоток. Для этой цели пользуются табл. 7-9 (на стр. 171), в которой указано, сколько витков плотной намотки при различном диаметре и изоляции провода умещается в 1 $см^2$ сечения обмотки (в таблице не учтены изолирующие прокладки между слоями, которые помещают иногда для повышения электрической прочности трансформатора или для уменьшения собственной емкости обмотки).

Примечание. Приведенный расчет выходного трансформатора однотактного усилителя остается верным и для трансформаторов двухтактного усилителя, за исключением следующих пунктов:

1. Коэффициент трансформации n вычисляется по той же формуле (3-60б), но в качестве сопротивления R_a нужно подставлять рекомендуемые табл. 4-4 для двухтактного усилителя значения приведенного сопротивления нагрузки между анодами ламп.

2. Формула (4-13) заменяется формулой

$$S_c = \frac{75\,U^2_{вых}}{L_1 \cdot f^2_н \cdot l_c}, \qquad (4\text{-}13а)$$

где S_c — площадь сечения сердечника, $см^2$;
$U_{вых}$ — переменное напряжение на первичной обмотке трансформатора, *в*;
L_1 — индуктивность первичной обмотки трансформатора, *гн*;
$f_н$ — низшая усиливаемая частота, *гц*;
l_c — средняя длина магнитной силовой линии пластин, *см*.

3. В формуле (4-15) вместо множителя 600 нужно поставить 400.

4. Двухтактные трансформаторы делают без воздушного зазора.

Пример. Индуктивность первичной обмотки трансформатора $L_1 = 26$ *гн*, коэффициент трансформации $n = 44$, постоянный ток в первичной обмотке $I_{a0} = 36$ *ма*. Найти тип пластин, толщину пакета b, δ, w_1, d_1, w_2 и d_2.

Находим $S_c = 0{,}05 \cdot 36\sqrt{26} = 9{,}2$ $см^2$. Выбираем Ш-образные разъемные пластины типа Ш-25 (см. стр. 212), у которых $a = 2{,}5$ *см* и $l_c = 21{,}4$ *см*. Тогда

$$b = 1{,}1\frac{9{,}2}{2{,}5} \approx 4\ см;\quad w_1 = 600\sqrt{\frac{26 \cdot 21{,}4}{9{,}2}} = 4\,670\ витков;$$

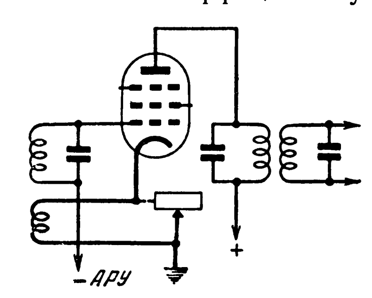
$$d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{36}{2 \cdot 1\,000}} = 0{,}15\ мм;$$

$$w_2 = \frac{4\,670}{44} = 106\ витков;$$

$$d_2 = 0{,}15\sqrt{44} = 1\ мм;\quad \delta = \frac{36 \cdot 4\,670}{14 \cdot 10^5} = 0{,}12\ мм.$$

7. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И РЕГУЛИРОВКИ

Обратная связь в усилительных каскадах. *Положительная обратная связь,* не доведенная до возникновения генерации, применяется в высокочастотных резонансных усилителях в целях повышения их коэффициента усиления и

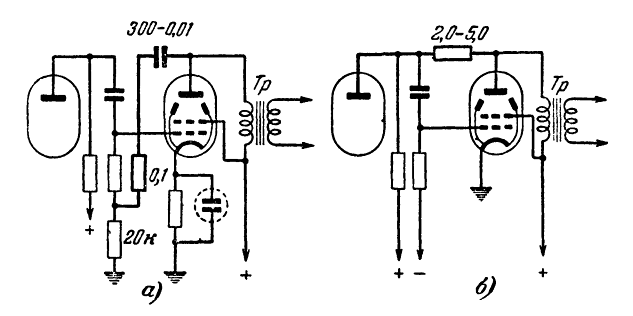


Фиг. 4-31. Положительная обратная связь в усилителе промежуточной частоты.

чувствительности. В супергетеродинном приемнике наиболее рационально устраивать положительную обратную связь в каскадах промежуточной частоты (фиг. 4-31), поскольку в них настройка колебательных контуров постоянна и потому нет необходимости регулирования ее в процессе приема. Такая связь повышает усиление и чувствительность приемника в 2—3 раза и повышает избирательность контура, в котором применена, а потому применение ее имеет смысл в малоламповых супергетеродинах и в приемниках с малым числом резонансных контуров. В высококачественных приемниках положительную обратную связь не применяют, так как она все же вносит некоторые искажения и ухудшает стабильность параметров схемы.

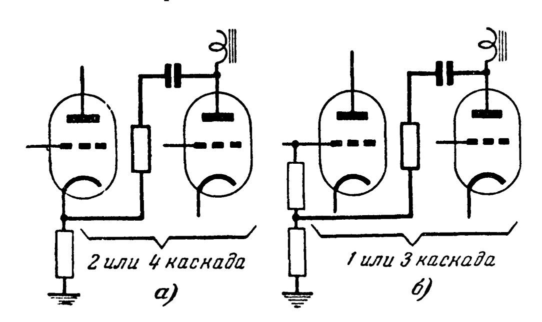
Заметим, что при наличии автоматического регулирования усиления (АРУ) в том каскаде, в котором применена положительная обратная связь, наблюдается эффект автоматического регулирования избирательности: она возрастает при приеме слабых и уменьшается при при-

еме сильных сигналов. Это объясняется зависимостью степени обратной связи от крутизны характеристики лампы, а крутизна зависит от отрицательного напряжения на сетке, которое создается системой АРУ в соответствии с амплитудой принимаемых сигналов.



Фиг. 4-32. Отрицательная обратная связь в оконечном каскаде усилителя низкой частоты.

Отрицательная обратная связь состоит в том, что часть полученного на выходе усилителя переменного напряжения подводится в противоположной фазе обратно ко входу. Так как подаваемое обратное напряжение максимально на частоте, на которой максимально и усиление, то снижение выходного напряжения будет на этой частоте наибольшим. Следовательно, отрицательная обратная связь уменьшает частотные искажения. Подводимое обратное напряжение содержит также нелинейные искаже-



Фиг. 4-33. Схемы подачи обратной связи.
а — при четном числе каскадов; *б* — при нечетном числе каскадов.

ния и составляющую шума, создаваемые усилителем, следовательно, отрицательная обратная связь частично снижает также и нелинейные искажения и шумы, возникающие в усилителе.

Необходимое изменение фазы напряжения для отрицательной обратной связи происходит автоматически, если связь по напряжению осуществлена между анодом и сеткой одной и той же лампы (фиг. 4-32,*а*) или между анодами следующих друг за другом ламп (фиг. 4-32,*б*). Если же обратная связь охватывает два или больше каскадов, то сдвиг фазы на 180° осуществляют или по схеме фиг. 4-33,*а* (при четном числе каскадов), или по фиг. 4-33,*б* (при нечетном числе каскадов).

Если в усилителе имеется трансформатор, то фаза легко может быть перевернута взаимным переключением концов одной из обмоток трансформатора. В усилителях низкой частоты напряжение обратной связи можно брать со вторичной обмотки выходного трансформатора и вводить его в цепь катода первой лампы усилителя. Однако в многокаскадных усилителях предпочитают применять обратную связь многократно, охватывая каждой цепью один-два каскада. Обычно же в усилителях мощностью до 10—15 *вт* достаточно иметь отрицательную обратную связь только в оконечном каскаде, ибо предварительные каскады усиления напряжения существенных нелинейных искажений не вносят.

В оконечных каскадах мощных усилителей, работающих с непостоянной нагрузкой (в трансляционных установках), отрицательная обратная связь важна и для стабилизации выходного напряжения, так как возникающие при сбросе нагрузки перенапряжения могут оказаться пагубными как для выходного трансформатора, так и для самих оконечных ламп, если в качестве их применены пентоды или лучевые тетроды. Наличие же отрицательной обратной связи ограничивает максимально возможное выходное напряжение, так как всякое увеличение напряжения на выходе автоматически вызывает уменьшение усиления.

Применение отрицательной обратной связи в мощных оконечных каскадах в сочетании с переводом этих каскадов из режима А в режимы АВ и В позволяет при прежних нормах на искажения получить вдвое-втрое бо́льшую выходную мощность и сократить при этом расход энергии на питание усилителя.

Элементы цепи обратной связи можно подобрать так, чтобы скомпенсировать частотные искажения, возникающие в других каскадах радиоустановки. Так, например, если в схеме фиг. 4-32,*а* применить конденсатор $C_{св}$ недостаточно большой емкости, то для низших частот отрицательная обратная связь будет резко ослаблена, усиление на них окажется больше, чем на средних и, в особенности, на высших частотах, в результате басы окажутся подчеркнутыми, а высокие тона — срезанными. Схемы обратной связи для подъема и срезания низких и высоких тонов рассматриваются ниже.

Разновидностью схемы отрицательной обратной связи является усилитель с катодным выходом (фиг. 4-34), у которого нагрузочное

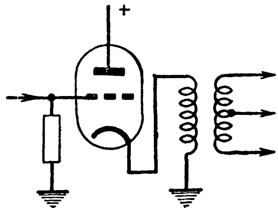
сопротивление включается в цепь катода и напряжение обратной связи равно величине выходного напряжения. Такой каскад по сути дела не является усилителем, так как коэффициент усиления его не может быть больше единицы, но осуществляемая им глубокая обратная связь приводит к эффективной компенсации искажений, резко увеличивает входное сопротивление каскада, обеспечивая стабильную работу его в пределах весьма широкого диапазона частот. Выходное сопротивление такого каскада, наоборот, очень мало, а потому не требует согласования с сопротивлением нагрузки. В приемно-усилительной аппаратуре каскад с катодным выходом выгодно применять в качестве возбудителя мощного двухтактного усилителя класса AB_2 или B.

Отрицательная обратная связь широко применяется в измерительной аппаратуре в целях компенсации частотных и нелинейных искажений, повышения входного сопротивления измерительных схем, а также для стабилизации коэффициента усиления каскадов, который при наличии обратной связи не так сильно зависит от изменений питающих напряжений.

Паразитная обратная связь может возникнуть в цепях питания любых электродов ламп через элементы ячеек *RC* при недостаточной емкости конденсаторов ячеек. В самом деле, малая емкость конденсатора $C_к$, шунтирующего сопротивление в цепи катода лампы (фиг. 4-35), приводит к образованию отрицательной обратной связи на низших частотах, для которых X_C конденсатора $C_к$ увеличивается и на нем выделяется часть усиленного лампой напряжения. Это снижает усиление низших частот. Такое же действие оказывает уменьшение емкости конденсатора $C_э$ в цепи экранной сетки лампы. Наоборот, уменьшение емкости конденсатора $C_{фа}$ анодной развязки создает эффект увеличения анодного сопротивления для низших частот и вызывает подъем усиления их, но в то же время делает возможным проникновение усиленных колебаний в источник анодного питания, а оттуда в другие каскады усиления и создает опасность самовозбуждения усилителя.

Таким образом, даже при правильном расчете всего усилителя могут возникнуть иногда очень сильные искажения из-за неправильного выбора элементов вспомогательных цепей. Пределы, в которых возможен выбор величины сопротивлений вспомогательных цепей (автоматического смещения, анодной и сеточной развязок, экранной сетки), обычно весьма ограничены, так как они определяют поступающие на электроды ламп питающие напряжения.

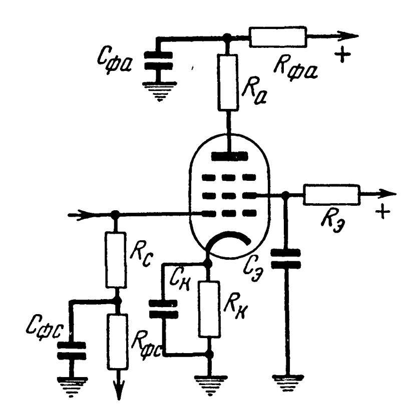
При определенных значениях сопротивлений возникновение паразитных обратных связей и искажений можно предупредить только правильным выбором конденсаторов $C_к$, $C_{фа}$, $C_{фс}$ и $C_э$, необходимые емкости которых могут быть рассчитаны методом, изложенным в § 9 гл. 3. На практике же часто применяют конденсаторы заведомо большой емкости. Так, например, в каскадах высокой и промежуточной частоты берут $C_к = C_{фа} = C_{фс} = C_э = 0{,}05 \div 0{,}1$ *мкф*, а в каскадах низкой частоты $C_к = C_{фа} = 2 \div 10$ *мкф* и $C_{фа} = C_э = 0{,}1 \div 0{,}5$ *мкф*.



Фиг. 4-34. Схема предоконечного каскада с катодным выходом.

Часто ячейки $R_{фс}C_{фс}$ и $R_{фа}C_{фа}$, особенно в первых каскадах усиления низкой частоты, служат одновременно для дополнительного сглаживания пульсаций питающих напряжений, получаемых от выпрямителя. Тогда в зависимости от остатка пульсации на выходе выпрямителя и от чувствительности каскада емкости конденсаторов увеличивают до десятков микрофарад.

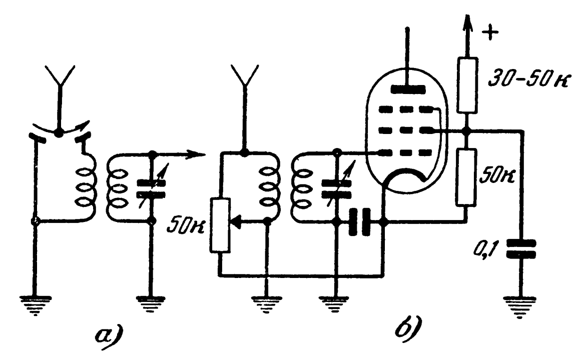
Регулировка усиления. Приемник, предназначенный для приема местных станций, не



Фиг. 4-35. Источники паразитных обратных связей в усилителе.

нуждается в усилении напряжения высокой частоты, так как чувствительность детектора достаточна для непосредственного преобразования колебаний местных передатчиков в напряжение низкой частоты. В то же время приемники для приема дальних станций обязательно должны иметь усилитель высокой частоты.

Но в них необходимо предусмотреть также и возможность приема без перегрузки местных станций, т. е. сильных сигналов, так как перегрузка приемника влечет за собой искажения. Например, слишком большая амплитуда сигналов на сетке какой-либо лампы, вызывающая заход в область сеточных токов или за нижний перегиб характеристики, служит причиной появлений нелинейных искажений. Избежать этого можно снижением амплитуды, т. е. ослаблением сигнала. Применяемые для



Фиг. 4-36. Ручное регулирование усиления.

а — изменением индуктивной связи антенны с контуром (указано стрелкой) или применением дифференциального конденсатора; б — совместным изменением напряжения смещения и ослаблением подаваемого антенной напряжения.

этого регуляторы устанавливаются в высокочастотной части приемника и называются регуляторами усиления.

Ручная регулировка усиления. Регулировка усиления в высокочастотных каскадах оказывает, разумеется, влияние и на громкость приема, так как чем меньше подводимая к детектору амплитуда сигналов высокой частоты, тем меньше и получаемое после детектора напряжение низкой частоты, но основным назначением ее является предотвращение перегрузки ламп при приеме сильных сигналов.

Регулировка усиления не должна нарушать настройки контуров в резонанс на несущую частоту, так как расстройка контуров влечет за собой усиление помех, вызываемых соседними передатчиками, и уровня шумов.

Способы регулировки усиления всецело зависят от устройства приемника. В приемниках прямого усиления напряжение высокой частоты обычно ослабляют во входных цепях, чтобы предотвратить возможность перегрузки первой же лампы. Для этого пригодны переменная индуктивная связь между антенной и контурной катушками или емкостная связь антенны с контуром, осуществляемая конденсатором переменной емкости, лучше всего дифференциальным. Последний состоит из двух статоров и одного ротора, собранных так, что при вращении ротора уменьшается его емкость по отношению к одному статору и увеличивается по отношению к другому (фиг. 4-36,*а*).

Если перед детектором имеются один или несколько каскадов высокой частоты, то проще всего регулировать чувствительность изменением положения рабочей точки на характеристике усилительной лампы, влияя этим на ее рабочую крутизну (если лампы имеют удлиненную характеристику). Простейшим средством регулирования сеточного напряжения является переменное сопротивление в катодной цепи усилительной лампы, на котором постоянная составляющая анодного тока выделяет напряжение, пропорциональное введенной части сопротивления. Чем больше это падение напряжения, тем левее смещается рабочая точка лампы и тем меньше становится ее крутизна, которая и определяет усиление. Разумеется, сеточное напряжение можно брать и от отдельного источника и подводить его к сетке через потенциометр. Во многих простейших приемниках регулирование сеточного напряжения часто комбинируется с ослаблением подводимого от антенной цепи напряжения (фиг. 4-36,*б*). Изменять крутизну лампы можно и изменением напряжения на экранной сетке лампы.

Автоматическая регулировка усиления (АРУ). В приемниках с умеренным запасом усиления по высокой частоте АРУ в первую очередь служит для избежания чрезмерных амплитуд на сетках ламп (за исключением первой). Если же приемник располагает значительным усилением по высокой частоте, то дополнительная задача АРУ состоит в уравнивании громкости различных по силе приема передатчиков и в выравнивании колебаний силы приема, обусловленных замираниями и изменением условий приема.

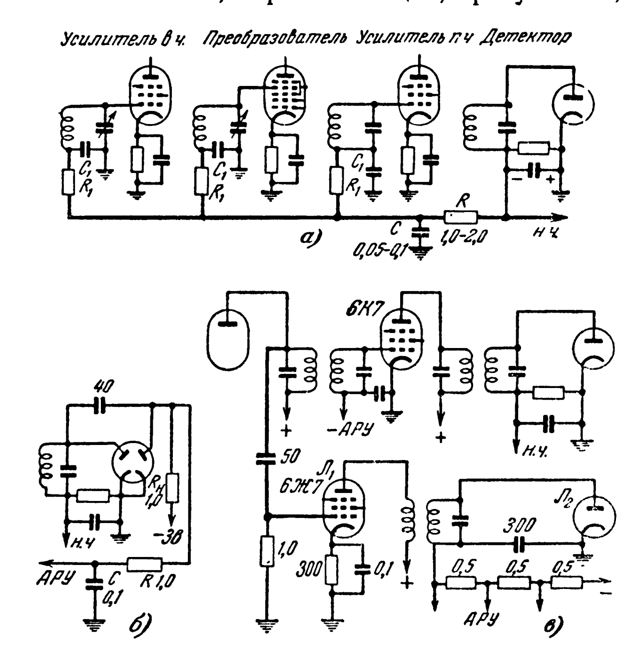
Принцип осуществления АРУ состоит в использовании получающейся при детектировании высокочастотных колебаний постоянной составляющей напряжения в качестве напряжения смещения для предшествующих детектору ламп. Для этого можно использовать напряжение на нагрузочном сопротивлении диодного детектора или устроить отдельный детектор для канала АРУ, причем в любом случае необходимо, чтобы выпрямленное напряжение имело относительно заземляющего провода отрицательную полярность. Далее, напряжение АРУ должно быть свободно не только от высокочастотной пульсации, но и от колебаний низкой частоты, которые получаются в результате детектирования модулированного сигнала. Для этого полученное после диода на-

пряжение пропускают через соответствующую ячейку фильтра *RC* (фиг. 4-37,*а*) с постоянной времени около 0,1 сек. Сопротивление *R* оказывается введенным в цепи управляющих сеток регулируемых ламп и обычно не превосходит 1 ÷ 2 *мгом*, а емкость конденсатора *C* должна быть порядка 0,05 ÷ 0,1 *мкф*. Увеличивать эту постоянную времени сверх 0,1 сек. нерационально, так как тогда система АРУ будет срабатывать с некоторым запаздыванием, что будет мешать выравниванию быстрых изменений слышимости при перестройке приемника и замираниях. Из тех же соображений нерационально делать большую постоянную времени у дополнительных ячеек R_1C_1, служащих для взаимного развязывания сеточных цепей управляемых каскадов (у них постоянная времени не должна превышать 0,01 сек.).

Эффективность работы системы АРУ в значительной мере зависит от формы характеристик регулируемых ламп (она должна быть удлиненной, чтобы обеспечить изменение крутизны в широких пределах) и резко возрастает с увеличением числа регулируемых каскадов, почему напряжение АРУ подают обычно на сетки всех предшествующих детектору ламп. Иногда напряжение АРУ подают и на сетку лампы первого каскада усилителя низкой частоты, однако это допустимо лишь при малых амплитудах сигнала на сетке лампы, так как иначе могут возникнуть нелинейные искажения.

Задержанное АРУ. Принцип его работы состоит в том, что при приеме слабых сигналов АРУ не работает вовсе и при этом усиление приемника максимально, а вступает оно в действие и начинает уменьшать усиление приемника лишь при сигналах, превышающих определенный минимальный уровень (порог срабатывания). Достигается это тем, что на анод диода АРУ подается небольшое отрицательное напряжение (2—3 *в*), которое запирает его, и ток начинает диодом пропускаться лишь при сигнале, превышающем после детектирования эти 2—3 *в*. Очевидно, что при такой системе АРУ для детектирования и регулировки усиления должны применяться два отдельных диода. Для схемы задержанного АРУ (фиг. 4-37,*б*) и были выпущены лампы с двумя диодами (6Х6С, 6Г7, 6Б8С).

Усиленное АРУ. Простое и задержанное АРУ не могут полностью уравнять громкость приема различных станций, если даже запас усиления приемника достаточен для того, чтобы любую из них, хотя бы и наиболее слабую, принимать с полной выходной мощностью. Это объясняется тем, что уменьшить усиление при приеме более мощной станции можно лишь в том случае, если ее сигналы создадут на детекторе большее напряжение, позволяющее сильнее сместить влево по характеристике рабочие точки регулируемых ламп. Но это означает одновременное увеличение и составляющей напряжения низкой частоты на нагрузочном сопротивлении детектора. Но чтобы при приеме любых сигналов, превышающих, разумеется,



Фиг. 4-37. Автоматическое регулирование усиления (АРУ).

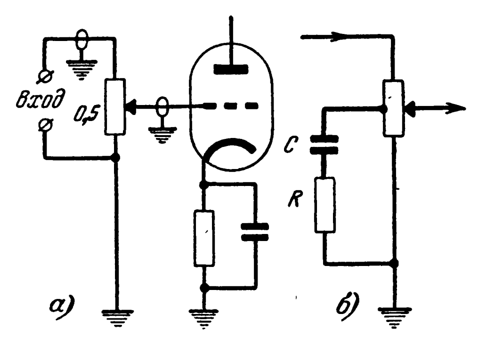
а — простое АРУ; *б* — задержанное АРУ; *в* — усиленное АРУ.

порог чувствительности приемника, получать одинаковую громкость приема, после детектора должно получиться всегда одинаковое напряжение низкой частоты. Это противоречие может быть решено только подачей регулирующего напряжения АРУ дополнительно и на каскады, следующие за диодом АРУ, в частном случае на первый каскад усилителя низкой частоты. Но поскольку такая мера может привести к появлению нелинейных искажений, в наиболее совершенных приемниках применяют другой принцип — усиленное АРУ.

Схема усиленного АРУ (фиг. 4-37,*в*), кроме диода-выпрямителя $Л_2$, содержит каскад усиления промежуточной частоты на лампе $Л_1$, включенный параллельно последнему каскаду промежуточной частоты (фиг. 4-37,*в*) основного канала. На сетку лампы дополнительного усилителя регулирующее напряжение не подается, а в ее анодную цепь вместо полосового фильтра обычно включается одиночный контур. В связи с этим усиление в канале АРУ и

напряжение, поступающее на диод АРУ, получаются больше усиления основного канала и напряжения на его детекторе. Выравнивание характеристики АРУ осуществляется подачей на различные каскады большей или меньшей части напряжения от нагрузочного сопротивления диода АРУ, для чего оно разбивается на секции.

Регулировка громкости. В простейших приемниках, не имеющих АРУ, но в которых имеется ручной регулятор усиления в высоко-



Фиг. 4-38. Ручные регуляторы громкости.
а — на входе усилителя; *б* — с тонкомпенсацией.

частотной части, регулятор громкости в низкочастотной части обычно отсутствует. При АРУ же ручной регулятор громкости необходим.

Установка регулятора громкости наиболее целесообразна на входе усилителя низкой частоты, так как, ограничивая амплитуду сигнала на первой же лампе, он обеспечивает при любой громкости наименьшие нелинейные искажения. Для этого в цепь управляющей сетки входной лампы усилителя включают высокоомный потенциометр (фиг. 4-38,*а*). Но так как при этом увеличивается возможность проникновения в усилитель посторонних шумов по проводам, подводящим напряжение к регулятору, то как регулятор, так и все идущие к нему провода (кроме заземленных или соединенных с шасси) должны быть защищены металлическими экранами.

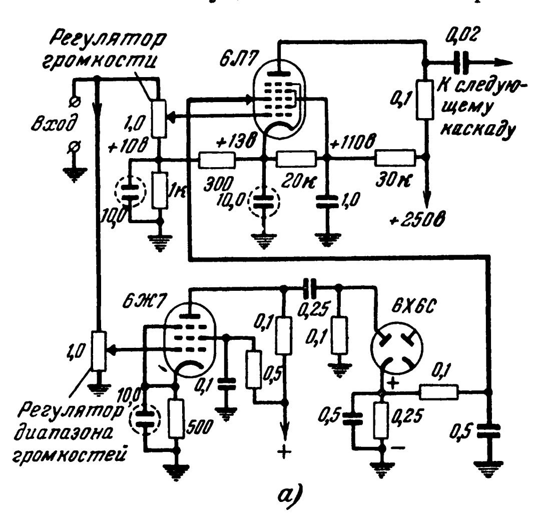
Чтобы громкость при вращении рукоятки возрастала по возможности пропорционально углу поворота регулятора, нужно учитывать, что кривая чувствительности слуха подчиняется особому (логарифмическому) закону. Поэтому сопротивление регулятора громкости при вращении его рукоятки должно возрастать по этому же закону (вначале медленно, а потом быстрее). Для этой цели выпускаются специальные потенциометры. Кроме того, поскольку при малых громкостях более естественным кажется воспроизведение с подчеркиванием низких тонов, то потенциометры, предназначенные специально для регулирования громкости, снабжаются отводом, к которому присоединяется так называемая тонкокомпенсирующая цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора и сопротивления (фиг. 4-38,*б*). Элементы этой цепи обычно подбираются опытным путем в пределах $R = 5$—50 *ком* и $C = 0{,}005$—0,05 *мкф*.

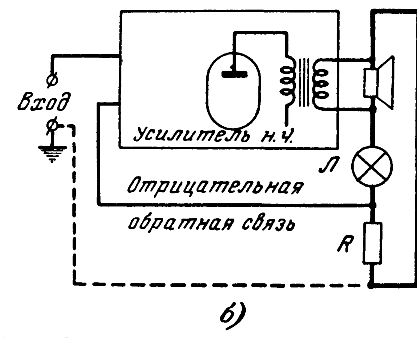
Все регуляторы громкости включают в схему так, чтобы громкость возрастала при вращении ручки регулятора по часовой стрелке.

Расширение динамического диапазона громкостей. При радиопередаче или при записи звука на граммпластинках невозможно выдержать естественные пределы громкости: самые громкие и самые тихие звуки отличаются между собой по мощности в миллионы раз, и при сохранении такого соотношения наиболее громкие звуки неминуемо перегрузят лампы и электроакустические приборы, а наиболее тихие заглушатся собственными шумами аппаратуры. Поэтому на практике при радиопередаче или при звукозаписи намеренно уменьшают разницу между громкими и тихими звуками — сужают динамический диапазон громкостей.

В профессиональных условиях сужение динамического диапазона громкостей выполняет тонмейстер ручными регуляторами уровня, а в упрощенных звукозаписывающих установках оно часто осуществляется автоматически особым устройством (компрессором). Чтобы при воспроизведении граммзаписи или при приеме радиопередачи восстановить естественный диапазон громкостей, в наиболее совершенных радиоприборах применяют специальные схемы для расширения динамического диапазона громкостей. Эти устройства представляют собой автоматически действующие приспособления, вводимые в усилитель низкой частоты. Схем таких устройств много, но все они работают по одному из двух принципов. Первый (фиг. 4-39,*а*) состоит в том, что подлежащее усилению напряжение выпрямляется диодом и после сглаживания пульсаций в положительной полярности подается на управляющую сетку первой лампы усилителя, которая выбирается либо с удлиненной характеристикой, либо с двумя управляющими сетками. Это напряжение в зависимости от амплитуды усиливаемых сигналов уменьшает в большей или меньшей мере постоянное и заведомо большое напряжение смещения, подаваемое из цепи катода лампы, и при увеличении амплитуды сигнала увеличивает крутизну характеристики, а вместе с нею и даваемое лампой усиление. Таким образом, чем больше амплитуда усиливаемых колебаний, тем больше их усиление.

Другой принцип заключается в использовании нелинейного сопротивления (чаще всего лампочки накаливания), включаемого обычно в цепь отрицательной обратной связи (фиг. 4-39,*б*). Сопротивление *R* вместе с лампочкой *Л* образует делитель напряжения, с которого снимается напряжение обратной связи. При небольших амплитудах выходного напряжения

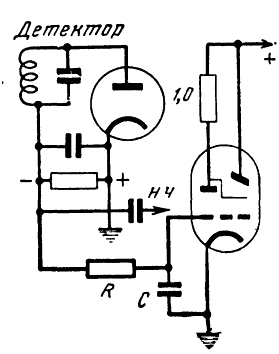




Фиг. 4-39. Схема расширения динамического диапазона громкости.

сопротивление нити лампочки *Л* невелико и почти все напряжение выделяется на сопротивлении *R* и подается в цепь отрицательной обратной связи, резко уменьшая усиление. При больших амплитудах напряжения лампочка *Л* загорается, сопротивление нити возрастает и напряжение на сопротивлении *R* уменьшается; при этом уменьшается степень обратной связи и усиление возрастает.

На первый взгляд может показаться, что действие рассмотренных устройств противоположно действию АРУ. Но разница между их действием состоит в том, что регулирующее напряжение АРУ пропорционально среднему значению а м п л и т у д ы н е с у щ е й ч а с т о т ы и не зависит от глубины модуляции; таким образом, если средняя амплитуда несущей частоты не меняется, то АРУ не будет влиять на громкость воспроизведения звука. Расширители же диапазонов, наоборот, реагируют на изменение а м п л и т у д ы н и з к о ч а с т о т н о г о с и г н а л а, полученного после детектирования, которая при неизменном среднем значении амплитуды несущей частоты зависит только от глубины модуляции. При замираниях сигнала, когда интенсивность приема колеблется и среднее значение амплитуды несущей частоты изменяется, расширители действительно противодействуют работе системы АРУ. При воспроизведении граммзаписи они тоже не всегда действуют благоприятно. Поэтому всякий расширитель динамического диапазона громкостей снабжается или регулятором степени расширения, имеющим нулевое положение, или выключателем.



Фиг. 4-40. Электроннооптический индикатор настройки.

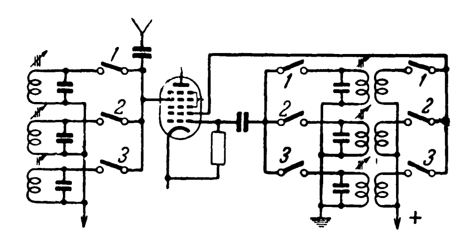
Индикаторы настройки. Приемники, снабженные АРУ, имеют тот недостаток, что при настройке на несущую частоту передатчика по максимуму громкости трудно определить середину резонансной кривой. Поэтому в них часто применяют индикаторы точной настройки.

Индикатор тока в анодной цепи регулируемых ламп. Вследствие смещения рабочей точки напряжением АРУ уменьшается не только крутизна характеристик ламп, но и их анодный ток. Поэтому, включив в анодную цепь регулируемой лампы миллиамперметр, можно судить о точной настройке приемника по минимальному значению анодного тока. Этот тип индикаторов настройки применяется главным образом в профессиональных приемниках.

В настоящее время получил преобладающее распространение *электроннооптический индикатор* напряжения после детектора. В качестве таких индикаторов используют специальные электронные лампы (например, 6Е5С). На управляющую сетку такой лампы подается отрицательное сглаженное постоянное напряжение, выделяющееся на нагрузочном сопротивлении диодного детектора (фиг. 4-40). Сглаживание низкочастотной пульсации осуществляется ячейкой *RC* с постоянной времени порядка 0,05 сек. Чтобы эта цепь не шунтировала нагрузочное сопротивление детектора, со-

противление R должно быть по возможности большим (обычно 1 *мгом*), следовательно, емкость конденсатора C должна составлять около 0,05 *мкф*. Уменьшение постоянной времени приводит к проникновению на сетку индикатора низкочастотных колебаний, в результате чего края его теневого сектора расплываются, а излишнее увеличение замедляет реакцию индикатора, затрудняя точную настройку.

Автоматическая настройка и подстройка. Автоматическая, или фиксированная, настройка имеет целью упростить настройку приемника на наиболее часто принимаемые станции.



Фиг. 4-41. Схема с контурами, настроенными на фиксированные частоты.

Большей частью она осуществляется с помощью кнопочного механизма, включающего сменные контуры с фиксированной настройкой. Кнопки автоматической настройки снабжаются контактами, включающими в гетеродине и усилителе высокой частоты тот или иной комплект колебательных контуров, заранее настроенных для приема определенного передатчика (фиг. 4-41). Эта система наиболее распространена и довольно часто осуществляется с некоторыми упрощениями (иногда сменяются только катушки, а конденсатор постоянной емкости используется один и тот же, в других случаях обходятся меньшим числом катушек, а сменяют конденсаторы).

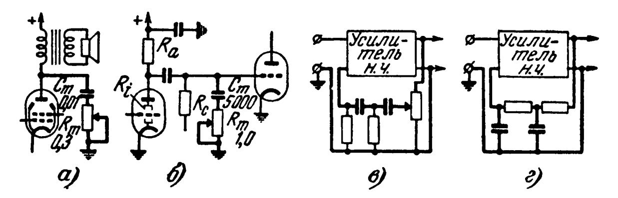
В приемниках, имеющих в усилителе высокой частоты два резонансных контура, кнопочную настройку производят обычно только в одном из них, а другой при переходе с плавной настройки на автоматическую выключается вовсе. Это упрощает конструкцию приемника, облегчает первичную настройку кнопок и не слишком ухудшает параметры приемника, так как кнопочная настройка обычно применяется на близкие, хорошо слышимые станции, не требующие дополнительного усиления по высокой частоте и особенно высокой избирательности.

Очень редко применяются и более сложные методы автоматической настройки, например с помощью электродвигателя и др.

Для повышения точности настройки приемника при автоматической его настройке, а также для повышения устойчивости настройки на коротких волнах применяется автоматическая подстройка. Системой автоматической подстройки частоты снабжаются только редкие приемники высшего класса.

Регулировка тембра. Регулирование тембра — это изменение частотной характеристики усилителя низкой частоты.

Регуляторы тембра осуществимы как в виде регулируемых фильтров, включенных в том или ином участке низкочастотного усилительного канала, так и в виде аналогичных фильтров в цепи отрицательной обратной связи. Когда



Фиг. 4-42. Схемы регуляторов верхних частот.

требуются особенно широкие пределы регулирования, зачастую в усилитель вводится специальный каскад, не дающий заметного усиления на средних частотах, но позволяющий получить как уменьшение, так и значительный подъем усиления на высших и низших частотах.

Регулятор верхних частот в наиболее часто применяемой форме представляет собой последовательное соединение постоянного конденсатора C_m и переменного сопротивления R_m, подключаемых к первичной обмотке выходного трансформатора или к сеточной цепи любого из каскадов усилителя низкой частоты (фиг. 4-42). Емкость конденсатора C_m (в пикофарадах) выбирается так, чтобы на частоте f_{cp} (в герцах), начиная с которой необходимо получать уже заметное снижение усиления, его емкостное сопротивление равнялось сопротивлению той цепи усилителя, к которой присоединен регулятор, т. е.

$$\frac{1}{6{,}28 f_{cp} \cdot C_m} = R_y,$$

откуда

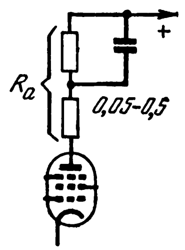
$$C_m = \frac{15{,}9 \cdot 10^{10}}{f_{cp} \cdot R_y}. \qquad (4\text{-}20)$$

Сопротивление R_y должно учитывать все соединенные параллельно сопротивления, в частности для сеточной цепи (фиг. 4-42,*б*) R_y определяется из формулы

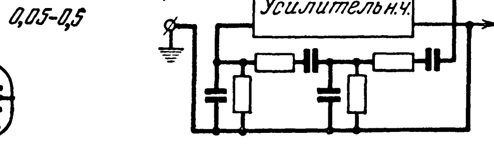
$$\frac{1}{R_y} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_i}, \qquad (4\text{-}21)$$

где R_i — внутреннее сопротивление предыдущей лампы и R_a — сопротивление в цепи ее анода.

Полное сопротивление R_m должно в 5—10 раз превышать величину R_y. Для плавности регулировки реостат R_m, как и при регулировании громкости, желателен с логарифмическим законом изменения величины сопротивления.



Фиг. 4-43. Схема подъема нижних частот.

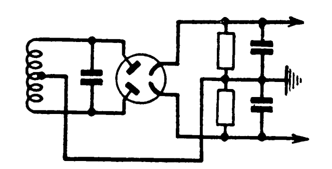


Фиг. 4-44. Схема ослабления средних частот.

На фиг. 4-42,*в* и *г* представлены две схемы регулировки усиления на верхних частотах, осуществляемой с помощью частотно-избирательной отрицательной обратной связи. Если последовательные конденсаторы в цепи отрицательной обратной связи имеют малую емкость, то ослабляется усиление лишь на высших частотах и степень ослабления регулируется степенью обратной связи. Если требуется возможность не только среза, но и подъема усиления верхних тонов, то прежде всего нужно обеспечить (при отсутствии регулятора тембра) подъем усиления на высших частотах, что проще всего сделать введением отрицательной обратной связи, в цепи которой высшие частоты срезаются параллельной емкостью (фиг. 4-42,*г*), так что усиление на всех частотах, кроме высших, уменьшается. Затем в усилитель включают любой из описанных выше регуляторов верхних тонов, который при среднем положении рукоятки реостата срезал бы верхние частоты настолько, чтобы усиление на них получалось одинаковым с остальными. Тогда при вращении рукоятки в одну и другую стороны от ее среднего положения будет получаться либо подъем, либо ослабление на верхних частотах.

Регулятор нижних частот целесообразнее всего устраивать в цепи отрицательной обратной связи. Нетрудно понять, что для снижения усиления на нижних частотах нужно применить отрицательную обратную связь, подающую напряжение низших, но предотвращающую подачу средних и верхних частот, т. е. схему фиг. 4-42,*г*. Регулируя степень такой обратной связи, можно получить большее или меньшее ослабление на нижних частотах.

Если наряду с ослаблением необходима возможность получения подъема на нижних частотах, надо заранее обеспечить подъем частотной характеристики усилителя на низших частотах, что можно достичь шунтированием части сопротивления анодной нагрузки реостатного каскада конденсатором большой емкости (фиг. 4-43). Регулятор же обратной связи налаживается так, чтобы при среднем положении



Фиг. 4-45. Раздвоение фаз до усилителя низкой частоты (двухтактный детектор).

его рукоятки ослабление усиления нижних частот компенсировало бы исходный подъем усиления их. Тогда в крайних положениях рукоятки регулятора последний обеспечит максимальное и минимальное усиление на нижних частотах.

При наличии двух раздельных регуляторов тембра надо в усилителе обеспечить подъем частотной характеристики как на низших, так и на высших частотах, т. е. ослабить усиление на одних средних частотах и применить далее любого вида регуляторы верхних и нижних тонов, создающие их ослабление. Ослабить усиление на средних частотах можно отрицательной обратной связью по схеме фиг. 4-44, в которой емкости последовательных конденсаторов недостаточно велики, чем ослабляется обратная связь на наиболее низких частотах, а параллельные конденсаторы ослабляют ее для верхних частот.

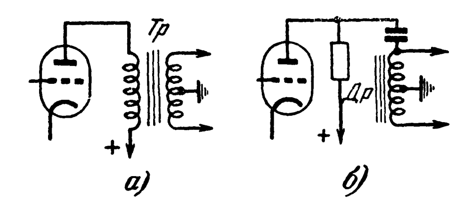
Существует также много других схем регулировки тембра. Следует иметь в виду, что каскад, в котором производится регулировка тембра, не должен охватываться цепью отрицательной обратной связи.

Фазораздвоители. В усилителях низкой частоты для перехода с однотактной схемы на двухтактную применяются так называемые ф а з о р а з д в о и т е л и, задачей которых является создание двух одинаковых по величине, но противоположных по фазе напряжений. Каждое из этих напряжений подается затем к управляющим сеткам одной и другой ламп двухтактного усилителя.

На фиг. 4-45 представлена схема раздвоения фаз, применяемая на входе усилителя низ-

кой частоты, с тем чтобы усиление по низкой частоте с первого же каскада вести по двухтактному методу (в целях уменьшения нелинейных искажений).

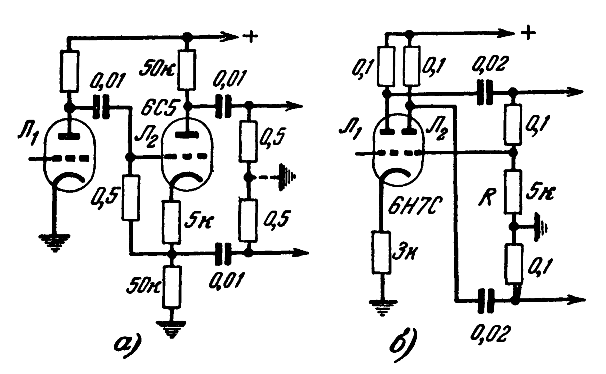
На фиг. 4-46,*а* изображена схема фазораздвоителя с трансформатором *Тр*, у которого вторичная обмотка имеет отвод от ее середины.



Фиг. 4-46. Фазораздвоитель.
а — с трансформатором; *б* — с дросселем.

Эту схему целесообразно применять в последнем каскаде предварительного усилителя, когда двухтактный оконечный каскад работает в режиме классов АВ или В, т. е. когда от предоконечного каскада требуется некоторая мощность.

Фазораздвоитель по схеме фиг. 4-46,*а* по сути дела является трансформаторным усилителем и как таковой может быть выполнен в

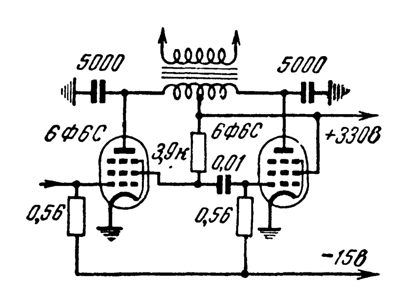


Фиг. 4-47. Фазоинверсные схемы с отдельной лампой (инвертером).

форме усилителя напряжения, если последний каскад работает без сеточных токов, т. е. в классе А или АВ, или усилителя мощности, если следующий за ним каскад поставлен в режим классов AB_2 или В. В последнем случае для получения наименьших искажений трансформатор выгодно включить не в анодную, а в катодную цепь (фиг. 4-34), причем, однако, коэффициент усиления фазораздвоителя уменьшится до единицы из-за глубокой отрицательной обратной связи, но зато предыдущий каскад будет работать в режиме усилителя напряжения.

Для раздвоения фаз вместо трансформатора можно применить как временную меру дроссель низкой частоты *Др* с отводом от середины его обмотки (фиг. 4-46,*б*), хотя здесь и невозможно получение точного баланса обеих фаз из-за несимметрии схемы. Кроме того, коэффициент усиления дроссельного усилителя не может быть таким высоким, как усилителя с трансформатором, а также невозможно согласование сопротивления нагрузки с сопротивлением ламп.

Переход с однотактного канала на двухтактный без трансформаторов может быть осу-



Фиг. 4-48. Получение второй фазы за счет одной из ламп оконечного каскада.

ществлен с помощью так называемых фазоинверсных схем, две из которых изображены на фиг. 4-47. Они могут применяться при условии, что следующий каскад работает без сеточных токов. Наименьшие искажения вносит схема фиг. 4-47,*а*, где лампа $Л_2$ работает с глубокой отрицательной обратной связью. При схеме фиг. 4-47,*б* сопротивление *R*, с которого снимается напряжение для поворота фазы на лампу $Л_2$, приходится иногда подбирать опытным путем, чтобы добиться равенства напряжений, подаваемых на каждую из сеток лампы двухтактного каскада.

В массовых упрощенных конструкциях иногда применяются схемы, в которых роль инверторной лампы возлагают на одну из ламп самого двухтактного усилителя. Одна из них приведена на фиг. 4-48.

8. ПИТАНИЕ ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Питание нитей накала. *Питание постоянным током.* Лампы малогабаритной серии с двухвольтовым накалом требуют батареи из двух последовательно соединенных элементов или одного двухвольтового аккумулятора, а пальчиковые лампы рассчитаны на питание от одного сухого элемента напряжением 1,4 *в* и сохраняют работоспособность при снижении напряжения накала до 1—0,9 *в*.

Обычно нити накала ламп приемника соединяют параллельно и питание их производится от общей батареи накала.

Если параллельно включаются лампы с неодинаковым напряжением накала, то источник питания должен соответствовать лампам, требующим наибольшего напряжения накала. Лампа, рассчитанная на меньшее напряжение накала, включается последовательно с сопротивлением, величина которого $R_н$ вычисляется по формуле

$$R_н = \frac{\Delta U}{I_н}, \quad (4\text{-}22)$$

где ΔU — разность между наименьшим и наибольшим напряжениями накала питаемых ламп, а $I_н$ — ток накала ламп, требующих меньшего напряжения.

Пример. Оконечная лампа, требующая 4 *в* для накала, заменяется другой, требующей только 2 *в*. Ток $I_н = 0{,}265$ *а*.

По формуле (4-22) находим $R_н = \frac{4-2}{0{,}265} = 7{,}5$ *ом*.

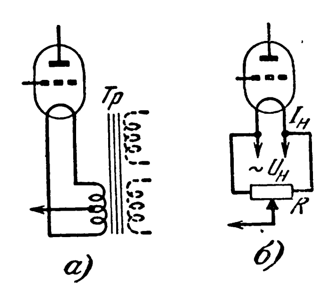
У ламп с одинаковым током накала можно соединять нити накала последовательно. Тогда необходимое напряжение накала определяется суммой напряжений всех последовательно соединенных нитей. Например, лампы с расходом тока по 0,2 *а* и напряжениями накала 4, 2 и 2 *в* потребовали бы общего напряжения накала 8 *в*. Последовательное питание нитей выгодно в тех случаях, когда в распоряжении имеется источник накала с напряжением настолько большим, что в противном случае его пришлось бы снижать искусственно.

Питание переменным током. В аппаратуре, предназначенной для питания от сети переменного тока, применяются почти исключительно лампы с косвенным накалом, так как питание переменным током катода прямого накала обычно вызывает появление сильного фона. Прямой накал допустим лишь в оконечных лампах и то при достаточно толстых нитях накала. При этом для присоединения к катоду должна использоваться средняя точка нити накала, которую создают искусственно с помощью отвода от середины накальной обмотки силового трансформатора *Тр* (фиг. 4-49,*а*) или с помощью сопротивления *R* (фиг. 4-49,*б*). Последнее делают переменным, чтобы точнее найти среднюю точку (по минимуму фона). Величина сопротивления выбирается так, чтобы ток через него не превышал 10% тока накала нити лампы, т. е.

$$R \geqslant \frac{10U_н}{I_н}.$$

Преимущество ламп с косвенным накалом состоит в том, что катоды отдельных ламп оказываются изолированными друг от друга и от общей цепи накала, что важно для получения автоматического сеточного смещения, а также для осуществления схем, в которых катод не заземлен по рабочей частоте (например, схемы с катодной связью).

В приемниках, предназначенных для питания только переменным током, нити ламп почти всегда включаются по схеме параллельного питания.



Фиг. 4-49. Питание переменным током катодов прямого накала.

Универсальное питание. Чтобы питать нити накала ламп непосредственно от осветительной сети, нужны лампы с косвенным накалом и дополнительное сопротивление (фиг. 4-50). При таком бестрансформаторном питании от сети применяется только последовательное соединение нитей накала, причем напряжение накала каждой отдельной лампы может быть каким угодно, но все они должны потреблять одинаковый ток. Род тока, разумеется, при этом не играет никакой роли.

В современных приемниках всегда предусматриваются лампочки для освещения шкалы. При универсальном питании осветительные лампочки выбирают с несколько большим расходом тока, чем у нитей ламп (чтобы предотвратить их быстрое сгорание).

Для поглощения излишка напряжения нужно включить сопротивление *R* (фиг. 4-50), величина которого определяется по формуле

$$R = \frac{U_c - U_н}{I_н}, \quad (4\text{-}23)$$

где U_c — напряжение сети, а $U_н$ и $I_н$ — соответственно полное напряжение накала всех ламп приемника и ток накала.

На практике рассчитывается сопротивление для сети с наибольшим напряжением (220 *в*) и от него делаются отводы для включения в сеть с меньшим напряжением (110, 127 *в*).

Пример. Приемник универсального питания содержит две лампы по 30 *в* (в сумме 60 *в*), три лампы по 6,3 *в* (в сумме 19 *в*) и две лампы для освещения шкалы по 13,5 *в* (в сумме 27 *в*). Итого 106 *в*. Наибольшее напряжение сети равно 240 *в*, а ток накала всех соединенных последовательно ламп составляет 0,3 *а*. Требуется рассчитать добавочное сопротивление R и предусмотреть отводы от него для питания приемника при напряжениях сети 110, 127 и 220 *в*.

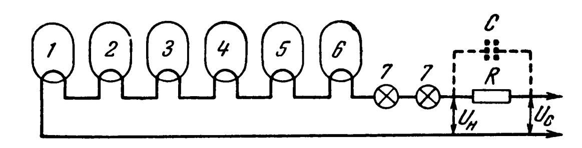
По формуле (4-23) находим $R = \frac{240 - 106}{0,3} = 450$ *ом*.

Отводы:

1) $R_1 = \frac{110 - 106}{0,3} = 13$ *ом*;

2) $R_2 = \frac{127 - 106}{0,3} = 70$ *ом*;

3) $R_3 = \frac{220 - 106}{0,3} = 380$ *ом*.



Фиг. 4-50. Схема универсального питания цепи накала.
1 — лампа детекторного каскада и предварительного каскада н. ч.; *2* — лампа преобразовательного каскада; *3* — лампа каскада в. ч.; *4* — лампа каскада п. ч.; *5* — лампа оконечного каскада н. ч.; *6* — кенотрон; *7* — лампочки для освещения шкалы.

Вместо добавочного сопротивления R, бесполезно расходующего мощность, иногда включают конденсатор C; в этом случае, разумеется, питать приемник от сети постоянного тока нельзя. Емкость конденсатора (в микрофарадах) определяется по формуле

$$C = \frac{15,9 \cdot 10^4}{f_c \cdot X}, \qquad (4\text{-}24)$$

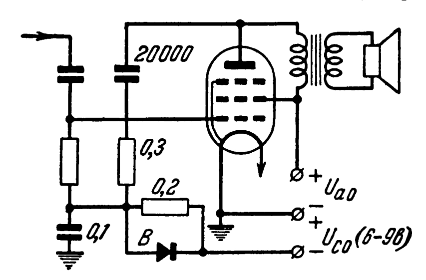
где f_c — частота тока питающей сети (обычно $f_c = 50$ *гц*), а

$$X = \sqrt{R\left(\frac{2U_c}{I_н} - R\right)} \qquad (4\text{-}25)$$

(оно должно быть больше, чем рассчитанное R, так как емкостное сопротивление конденсатора складывается с активным сопротивлением нитей накала геометрически).

Наряду с постоянными добавочными сопротивлениями для поглощения излишка напряжения в цепи накала и для одновременной стабилизации тока накала ламп при колебаниях питающего напряжения в приемниках универсального питания применяются стабилизаторы (см. стр. 79). Стабилизатор тока должен выбираться в соответствии с номинальным током накала ламп и пределами падающего на нем напряжения при колебаниях напряжения сети. Эти величины указываются непосредственно в марке стабилизатора: стоящее впереди буквы Б число означает стабилизируемый ток (в амперах), а два числа через черточку после буквы Б обозначают пределы допустимого падения напряжения на стабилизаторе. Так, например, стабилизатор тока 0,3Б17-35 рассчитан на 0,3 *а* и работает при падении на нем напряжения в пределах от 17 до 35 *в*.

Питание анодных цепей. *Питание от батарей.* Анодное напряжение дает батарея, составленная из многих включенных последовательно элементов. В зависимости от схемы



Фиг. 4-51. Схема экономичного оконечного усилителя низкой частоты.

приемник может требовать одного или сразу нескольких различных анодных напряжений. В связи с этим, а также для возможности экономичного использования батареи многие анодные батареи секционируют, т. е. снабжают отводами на различные части полного напряжения.

В целях уменьшения расхода тока анодными батареями в батарейных приемниках иногда применяется схема с купроксным или селеновым выпрямителем B (фиг. 4-51), которая дает сеточное смещение на оконечную лампу в зависимости от амплитуды усиливаемых сигналов: при отсутствии сигнала или при слабом сигнале смещение велико и анодный ток мал; при увеличении сигнала смещение уменьшается и анодный ток возрастает до нормальной величины. В таком режиме анодный ток автоматически доводится до минимального значения, обеспечивающего неискаженное усиление приходящих сигналов.

В мощных оконечных усилителях высокий к. п. д. обеспечивается применением двухтактного усиления в режиме класса В.

Для питания радиоаппаратуры можно ограничиться только низковольтным аккумулятором; в этом случае анодное напряжение возможно получать от преобразователя, питающегося низковольтным источником питания цепи накала. В качестве таких преобразователей чаще всего применяются вибрационные и вращающиеся преобразователи (см. стр. 142). Так как они создают радиопомехи, то в их схему и

конструкцию вводятся высокочастотные фильтры и экраны.

Питание от сети постоянного тока. Сетевые приемники постоянного тока в настоящее время вытеснены приемниками универсального питания, но радиомастеру приходится иногда приспосабливать к питанию от сети постоянного тока батарейные приемники. Проще всего этого сделать по схеме фиг. 4-52, не производя никаких переделок в монтаже приемника. Заземление присоединять к приемнику можно только через конденсатор, но поскольку электросети обычно имеют заземленную точку, то нет никакой нужды в отдельном заземлении.

Величины сопротивлений определяются по следующим формулам:

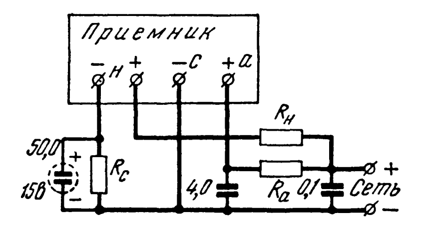
$$R_н = \frac{U_{c0}}{I_н}; \quad R_a = \frac{U_{a0} - U_{c0}}{I_a}; \quad R_c = \frac{U_c}{I_н},$$

где U_{a0} — анодное напряжение приемника, *в*;
U_{c0} — сеточное напряжение приемника, *в*;
I_a — общий анодный ток (постоянная составляющая), *а*;
$I_н$ — общий накальный ток, *а*.

При питании мощных установок (например, трансляционных узлов) от сети постоянного тока применяют вращающиеся преобразователи (см. стр. 142), обеспечивающие необходимое повышение напряжения.

Питание от сети переменного тока. Сетевая аппаратура переменного тока большей частью снабжается кенотронными выпрямителями, а при большом расходе анодного тока (в установках звукового кино и трансляционных усилителях) применяются газотронные выпрямители. От них же получают (через добавочные сопротивления или делители напряжения) отдельные более низкие, чем анодное, напряжения (на экранные сетки ламп и на предварительные каскады). Хотя делитель напряжения расходует больший ток, чем добавочное сопротивление, но он поддерживает с большим постоянством напряжение при колебаниях тока нагрузки. Поэтому, в частности, для питания экранных сеток ламп, работающих при переменном сеточном смещении (в схеме с АРУ), а также в измерительной аппаратуре, где необходимо наибольшее постоянство всех напряжений, предпочтение надо отдавать делителям.

При питании аппарата от сети переменного тока особое значение приобретает фильтрация выпрямленного напряжения, так как недостаточное его сглаживание приводит к появлению в усиливаемых сигналах фона переменного тока. Эффективность работы всякого фильтра зависит не только от значения емкости его конденсаторов и индуктивности дросселей, но и от сопротивления его нагрузки, т. е. от величины тока через фильтр. При малом расходе тока (до 5—10 *ма*) достаточно хорошее сглаживание может обеспечить одиночный конденсатор емкостью 5—10 *мкф*. Но если имеется мощный каскад усиления низкой частоты, потребляющий несколько десятков миллиампер, то уже необходим П-образный фильтр с дросселем. Таким образом, характер сглаживающего пульсацию фильтра определяется общим расходом анодного тока и поэтому в сильной мере зависит от мощных каскадов, потребляющих наибольший ток. Сам же уровень допустимой пульсации после фильтра определяется, как правило, маломощными предварительными каскадами, наиболее чувствительными к колебаниям анодного напряжения. Чтобы не слишком увеличивать емкость конденсаторов общего фильтра, последний обычно рассчитывается на снижение пульсации до величины, допустимой для основной массы каскадов (до 0,1% от величины полного анодного напряжения), а наиболее чувствительные к фону каскады питают через дополнительные сглаживающие *RC*-ячейки.



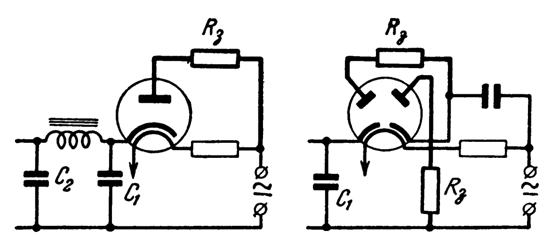
Фиг. 4-52. Питание батарейного приемника от сети постоянного тока.

Приемники универсального питания отличаются отсутствием силового трансформатора и применением в выпрямителе кенотрона с подогревным катодом, изолированным от нити накала; поэтому величина выпрямленного напряжения ограничена напряжением сети. Иногда при питании от сети переменного тока напряжением 120 *в* применяют схему выпрямителя с удвоением напряжения, которая при переходе на напряжение сети 220 *в* заменяется обычной однополупериодной схемой. При питании от сети постоянного тока кенотрон либо выключается совсем, либо оставляется включенным по однополупериодной схеме.

В схемах универсального питания кенотроны находятся в очень тяжелом режиме работы, так как в этом случае между катодом и нитью накала действует высокое напряжение, пики

которого в отдельных случаях могут достигать 300—400 *в*, что сокращает срок службы кенотронов.

Имеются три средства снижения пиковых амплитуд тока напряжения на промежутке катод—нить: 1) применение первого конденсатора фильтра C_1 емкостью не более 8—10 *мкф*; 2) если емкость первого конденсатора фильтра более 10 *мкф*, установка в цепи анода кенотрона защитного сопротивления $R_з = 75 \div 125$ *ом* (фиг. 4-53) и 3) правильный выбор места включения нити кенотрона в общей последовательной цепи накала.



Фиг. 4-53. Защитные сопротивления в цепи анода кенотрона бестрансформаторного выпрямителя.

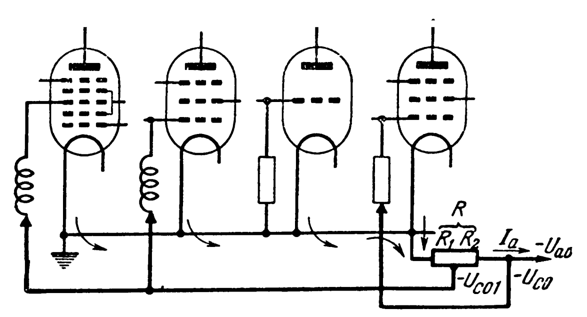
Правильность этого подключения можно определить практически по минимуму выражения $U^2_= + U^2_\sim$, где $U_=$ и $U_\sim$ — напряжения, измеренные приборами постоянного и переменного тока между катодом и нитью накала кенотрона. Переменную составляющую $U_\sim$ надо измерять, присоединяя вольтметр через конденсатор в 1—2 *мкф*, а постоянную составляющую $U_=$ — вольтметром магнитоэлектрического типа со шкалой на бо́льшие пределы измерения, чем измеренное $U_\sim$.

Нередко в схемах универсального питания вместо кенотронов используют селеновые столбики, которые работают более стабильно.

В отношении получения более низких напряжений для анодов и экранных сеток отдельных ламп остается в силе все сказанное о добавочных сопротивлениях и делителях для сетевой аппаратуры переменного тока.

Питание сеток. *Питание от батарей.* Чаще всего в современной батарейной аппаратуре напряжение сеточного смещения получают, как и в сетевой, от сопротивления в минусовом проводе цепи анодного тока. Если применяется фиксированное смещение, то используют для этой цели отвод от первых одного-трех элементов анодной батареи.

Автоматическое смещение при лампах прямого накала может быть осуществлено лишь с помощью сопротивления, включенного в общую анодную цепь всех ламп. При необходимости иметь различные напряжения смещения для разных ламп устраиваются от соответствующих частей этого сопротивления отводы (фиг. 4-54) или же оно составляется из нескольких отдельных сопротивлений. Полное сопротивление смещения и точки отводов от него рассчитываются, как обычно, по формуле $R = \frac{U_{c0}}{I_a}$, где I_a — ток в анодной цепи приемника, а U_{c0} — соответствующее напряжение смещения.



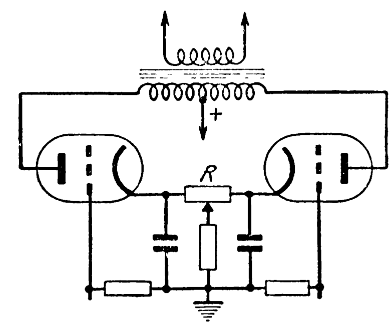
Фиг. 4-54. Получение сеточного смещения от анодного тока.

Пример. Анодный ток приемника $I_a = 8$ *ма* $= 0{,}008$ *а*. Необходимо получить напряжения смещения $U_{c0} = 4{,}5$ *в* и $U_{c01} = 0{,}5$ *в*. Какое нужно для этого сопротивление в цепи анода?

Полное сопротивление (для обеспечения смещения 4,5 *в*) должно быть $R = \frac{U_{c0}}{I_a} = \frac{4{,}5}{0{,}008} = 560$ *ом*, а участок, создающий напряжение 0,5 *в* (отвод на сопротивлении), $R_1 = \frac{U_{c01}}{I_a} = \frac{0{,}5}{0{,}008} = 63$ *ом*.

Сетевое питание. При сетевом питании аппаратуры фиксированное сеточное смещение требует сооружения специального выпрямителя. Чтобы не усложнять конструкции приемника введением в схему еще одного выпрямителя, к такому способу создания смещения прибегают только при необходимости получить строго постоянное напряжение смещения, не зависящее от колебаний анодного тока, например в усилителях класса AB_2 или В. В остальных случаях устраивают автоматическое смещение, которое при подогревных катодах может быть получено или от сопротивления в общей анодной цепи всех ламп, как это изложено выше, или от индивидуальных сопротивлений в катодных цепях отдельных ламп (например, $R_к$ на фиг. 4-26). В последнем случае расчет индивидуального катодного сопротивления

производится по формуле $R_к = \frac{U_{c0}}{I_{к0}}$, где $I_{к0}$— катодный ток данной лампы. Следует иметь



Фиг. 4-55. Сбалансированная схема автоматического смещения в двухтактном усилителе.

в виду, что в случае больших нагрузочных сопротивлений, например усилителей на сопротивлениях, этот ток не равен статическому значению, указанному в паспортах ламп, а во много раз меньше его. Кроме того, у многосеточных ламп катодный ток представляет сумму анодного тока, тока экранной сетки и прочих электродов, находящихся под положительным потенциалом относительно катода. Эти токи для различных режимов могут быть определены из характеристик ламп или взяты из справочных таблиц.

При оконечных лампах с прямым накалом катодное сопротивление присоединяют к средней точке накальной обмотки силового трансформатора или специального потенциометра. В двухтактных схемах для выравнивания анодных токов обоих плечей усилителя с целью компенсации постоянной составляющей в первичной обмотке выходного трансформатора применяют схему фиг. 4-55, в которой потенциометр R позволяет так подобрать смещение для ламп каждого плеча, чтобы анодные токи ламп сбалансировались.

* * *

ГЛАВА ПЯТАЯ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

1. МЕТАЛЛЫ

Металлы и сплавы с низким удельным сопротивлением. К числу таких металлов, с которыми наиболее часто приходится встречаться радиомастеру, принадлежат:

Медь (химическое обозначение Cu). Температура плавления 1 083° С, удельный вес 8,9. В электрорадиотехнике применяется электролитическая медь, характеризующаяся малым удельным сопротивлением (0,0172 *ом · мм²/м*). Процент содержания посторонних примесей в электролитической меди составляет не более 0,1%. Механические свойства меди зависят от способа ее термической обработки. Твердотянутая медь обладает большой прочностью на разрыв, малым удлинением при разрыве и повышенным удельным сопротивлением. Отожженная медь (мягкая) дает значительное удлинение при разрыве и обладает меньшим удельным сопротивлением. Применяется медь в виде проводов, листов, трубок и т. п.

Латунь. Желтый сплав меди, цинка и незначительной доли свинца в различных процентных отношениях. Латунь маркируется буквой Л с двухзначным числом, показывающим процентное содержание меди (например, Л-62 означает сплав, содержащий 62% меди). Латунь обрабатывается легче, чем медь, и значительно дешевле ее. Латунь тверже меди и обладает в 4—7 раз бо́льшим удельным сопротивлением, чем медь. Выпускается латунь в виде прутков различных диаметров и длин, которые служат для вытачивания из них осей, контактов, шпилек и т. п. Тонкая листовая латунь идет на поделку различных крепежных деталей, контактов лепестков. Гартованная латунь обладает большой упругостью и является хорошим материалом для изготовления пружинящих контактов.

Бронза. Твердый металл, сплав с содержанием меди бо́льшим, чем в латуни, и с добавлением олова, свинца, марганца, фосфора, бериллия, кадмия и др. Для производства скользящих и пружинных контактов применяется фосфористая бронза и бериллиевая бронза.

Алюминий (Al). Температура плавления 660° С, удельный вес около 2,7, удельное сопротивление 0,028 *ом · мм²/м*. Мягкий металл серебристо-белого цвета, добываемый электролизом из глинозема (бокситов). Алюминий быстро оксидируется на воздухе и приобретает при этом матово-серую окраску. Оксидный слой плохо проводит электрический ток, но предохраняет металл от дальнейшего окисления. Поэтому алюминий стоек по отношению к воздуху и воде. Алюминий растворяется в соляной кислоте и во всех щелочах и сплавляется с самыми различными металлами. Сплавы

представляют собой легкие металлы, отличающиеся ценными свойствами. Наиболее известны алюминиевые сплавы: дуралюминий и силумин, которые значительно тверже алюминия. Однако и тот и другой в большей степени подвержены коррозии и более хрупки, чем алюминий.

Алюминий применяется в виде проволоки, прутков, листов и фольги. Проволока выпускается двух типов: твердая (неотожженная) диаметром от 1 до 4,5 *мм* и мягкая (отожженная) диаметром от 0,7 *мм* и выше. Алюминиевая проволока, кроме своего прямого назначения, может быть использована для изготовления заклепок. Прутки различных диаметров используются для токарных поделок. Листовой алюминий применяется для изготовления шасси и различных крепежных элементов, а также для экранов и кожухов. Алюминиевая фольга применяется при изготовлении бумажных и электролитических конденсаторов.

Дуралюминий встречается в виде листов и прутков. Прутковый дуралюминий находит то же применение, что и алюминий, причем обтачивается он значительно легче, так как он менее вязок. Листовой дуралюминий применяется для изготовления шасси и различных каркасов, однако при сгибании он дает трещины и ломается. Для предотвращения перелома дуралюминий сгибают, предварительно нагрев его.

Силумин находит широкое применение как легкоплавкий сплав для литья каркасов радиоаппаратуры.

Сталь. Удельный вес порядка 7,8, удельное сопротивление $0,10 \div 0,20$ *ом · мм²/м*, т. е. в 6—12 раз больше, чем у меди. Отличается высокой механической прочностью на разрыв. На влажном воздухе в сильной мере подвержена коррозии. Для предотвращения ржавления поверхность готовых изделий из стали покрывается защитным слоем другого металла (кадмирование, оцинковка, никелирование). Свойства стали в значительной мере зависят от содержания в ней углерода. Машиноподелочная (конструкционная) сталь содержит углерода от 0,01 до 0,65% и маркируется Ст.1, Ст. 2, ..., Ст. 7 (в порядке возрастания процента углерода). Воспринимающая закалку инструментальная (углеродистая) сталь маркируется буквой У и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента. Например, У-9 означает инструментальную сталь, содержащую 0,9% углерода. Добавление буквы А, например У-13-А, обозначает минимальное содержание вредных примесей фосфора и серы.

Стальная проволока применяется в качестве проводов трансляционных сетей и междугородных линий связи. Распространена также биметаллическая проволока, у которой стальное тело по всей поверхности и длине покрыто другим металлом (большей частью медью). Проволока из биметалла выпускается диаметром от 1 до 4 *мм*. Электрическое сопротивление такой проволоки втрое меньше, чем у стальной того же диаметра.

Прутковая сталь идет на токарные поделки (вытачивание болтов, гаек, осей, втулок, шпилек, шайб и пр.).

Мягкая листовая сталь, которую часто называют железом, широко применяется для изготовления шасси, футляров, каркасов, стоек и подобных деталей. Стальные конструкции обладают высокой механической прочностью. Однако сталь значительно трудней обработать, чем многие другие металлы. Кроме того, в силу присущих стали магнитных свойств ее не всегда уместно применять в радиоаппаратуре.

Тонкие листы мягкой стали, покрытые слоем олова, называются жестью. Жесть выпускается толщиной от 0,2 до 0,5 *мм*; она легко режется ножницами и паяется. Из жести делают экраны и кожухи для низкочастотных узлов радиоаппаратуры, а также некоторые другие элементы конструкций (софиты, рефлекторы для шкал).

Ярко выраженные магнитные свойства стали послужили причиной широкого применения различных ее сортов в качестве магнитных материалов (см. ниже).

О таких металлах, как олово, свинец, цинк, как имеющих специфическое применение, будет сказано в соответствующих местах книги.

Сплавы с высоким удельным сопротивлением. Для изготовления проволочных сопротивлений, реостатов и нагревательных приборов применяются специальные сплавы различных металлов, обладающие высоким удельным сопротивлением. Важнейшие из них:

Манганин — сплав, содержащий в среднем 86% меди, 12% марганца и 2% никеля. Удельное сопротивление манганина около 0,5 *ом · мм²/м*. Вследствие очень малого температурного коэффициента применяется для изготовления добавочных сопротивлений и шунтов к измерительным приборам. Рабочая температура сопротивлений, изготовленных из манганиновой проволоки, не должна превышать 100° С.

Константан — сплав из 60% меди, 40% никеля и около 1% марганца. Удельное сопротивление константана около 0,5 *ом · мм²/м*. Применяется для изготовления сопротивлений и реостатов, работающих при температуре до 500° С. Кроме того, применяется для изготов-

ления термопар; в паре с медью развивает термо-э. д. с. порядка 50 *мкв* на 1° С.

Никелин — сплав меди и никеля с меньшим процентом содержания никеля. Удельное сопротивление — 0,4 ÷ 0,45 *ом · мм²/м.* Выпускается в виде проволоки; предназначается для намотки сопротивлений, работающих при невысокой температуре (до 150° С).

Реотан — сплав меди, никеля, цинка и железа. Удельное сопротивление реотана 0,47 *ом · мм²/м.* Максимальная рабочая температура 150° С. Чаще всего применяется для намотки пусковых реостатов к электродвигателям, а также для изготовления проволочных сопротивлений.

Нихром — сплав из 67% никеля, 16% железа, 15% хрома и 1,5% марганца. Прекрасный материал для изготовления сопротивлений электронагревательных приборов. Рабочая температура может доходить до 1 000° С. Удельное сопротивление нихрома 1 ÷ 1,1 *ом · мм²/м.*

Фехраль — сплав 15% хрома, 5% алюминия, 80% железа. Удельное сопротивление 1,2 ÷ 1,4 *ом · мм²/м.* Рабочая температура может доходить до 800° С. Применение то же, что у нихрома.

Хромаль — сплав 64% железа, 30% хрома, 4,5% алюминия и небольшого количества марганца, кремния и углерода. Удельное сопротивление около 1,45 *ом · мм²/м.* Допускает работу при температуре до 1 300° С.

Все перечисленные сплавы с большим удельным сопротивлением выпускаются в виде проволоки (голой и в изоляции) диаметром от 0,03—0,1 *мм.* Наибольшие диаметры: для манганина — 1,5 *мм,* для никелина, константана, нихрома, реотана и фехраля—3—4 *мм.*

Магнитные материалы. Магнитные материалы делятся на два основных класса: магнитно-мягкие и магнитно-твердые.

Магнитно-мягкие материалы характеризуются большой магнитной проницаемостью и узкой петлей гистерезиса. Они применяются в качестве различного рода магнитопроводов и сердечников. К магнитно-мягким материалам относятся:

Листовая электротехническая сталь, содержащая до 4% кремния. Применяется она при низких частотах. Электротехническая сталь маркируется буквой Э и цифрой, указывающей процентное содержание кремния: чем больше процент кремния, тем меньше в ней потери электрической мощности. Поэтому, например, сталь Э4 качественнее, чем Э1. Изготовляется электротехническая сталь листами длиной от 1 000 до 2 000 *мм,* шириной 700—1 000 *мм* и толщиной 0,3—0,5 *мм.*

Особенно высокими качествами отличается х о л о д н о к а т а н н а я с т а л ь, обладающая высокой проницаемостью (марка стали — ХВП). Толщина листов и лент ее достигает 0,03 *мм.* Сердечники для равноценных трансформаторов из стали ХВП имеют на 40% меньший объем и вес, чем сердечники из лучшей стали марки Э4.

Пермаллой — сплав 78% никеля, 21% железа; к специальным сортам пермаллоя добавляется 3—4% хрома, меди или молибдена. Отличается очень большой магнитной проницаемостью (свыше 100 000), но пригоден для работы в относительно слабых полях.

Гипермы — сплавы, аналогичные пермаллою, но с меньшим содержанием никеля (порядка 50%). Применяются для изготовления сердечников телефонных реле, магнитных экранов.

Перминдюр — сплав (около 50% кобальта, 2% ванадия, остальное — железо), представляющий очень ценный материал для изготовления телефонных мембран, кернов динамических громкоговорителей и т. п.

Порошкообразные магнитные материалы находят большое применение в радиотехнике для изготовления сердечников высокочастотных катушек. Высокочастотные магнитные сердечники состоят из замешанного в бакелитовом лаке порошкообразного пермаллоя, магнетита (железная руда, состоящая из смеси окислов железа), карбонильного железа (чистое железо) или альсифера (сплава алюминия, кремния и железа). Эта масса прессуется под высоким давлением непосредственно в виде сердечников требуемой формы.

Порошкообразные магнитные материалы применяются в широком диапазоне частот: для низких частот вырабатываются сердечники из пермаллоя, для тональных — из альсифера Т4 и для высоких частот — из альсифера ВЧ и РЧ, магнетита и карбонильного железа. Все эти материалы принято называть высокочастотными ферромагнетиками или магнитодиэлектриками. Наилучшими магнитодиэлектриками, допускающими работу на частотах до 50—100 *мггц* и обладающими малыми потерями, являются прессованное карбонильное железо и альсифер ВЧ-6. Последний обладает отрицательным температурным коэффициентом магнитной проницаемости и позволяет конструировать высокостабильные в температурном отношении колебательные контуры.

Магнитно-твердые материалы применяются для изготовления постоянных магнитов, используемых в телефонах, громкоговорителях, звукоснимателях, микрофонах и других радиоприборах.

Углеродистая сталь (содержит углерода до 1,7%) отличается непостоянством магнитных свойств, легко размагничивается при сотрясениях и ударах. Кроме того, углеродистая сталь хрупка и не допускает ковки, изгибания.

Вольфрамовая и хромовая стали, содержащие по нескольку процентов соответствующих названиям металлов, являются значительно лучшими материалами для изготовления постоянных магнитов. Эти сорта стали недороги, легко обрабатываются (куются, выдерживают изгиб) и обладают несколько лучшими магнитными свойствами, чем углеродистая сталь.

Кобальтовая сталь (содержит до 40% кобальта и 7% вольфрама) отличается высокой магнитной устойчивостью при механических и температурных воздействиях, поддается ковке, сгибанию. Равноценный магнит из кобальтовой стали в 6 раз легче, чем из углеродистой или хромовой.

Альни, альниси, альнико, магнико — группа сплавов, содержащих до 95% никеля, 8—15% алюминия, 3—6% меди, остальное — железо, кобальт, кремний. Сплавы альни — наиболее ценный материал для изготовления постоянных магнитов. В последнее десятилетие они вытеснили все прочие сорта магнитно-твердых материалов в производстве электроакустических приборов. Магниты из этих сплавов в 10—20 раз легче стальных. Опиливать и шлифовать изделия из альни следует осторожно, так как эти сплавы хрупки и легко крошатся.

2. ИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

В электротехнике под термином «изолирующие материалы» понимаются все непроводники электричества. К изолирующим материалам в зависимости от их применения предъявляют самые разнообразные требования. К числу их относится сопротивление изоляции вещества, которое должно быть как можно более высоким. При возникновении сильного нагрева изолирующий материал должен обнаруживать теплостойкость, а в иных случаях и огнестойкость и др. Особенно высокие требования предъявляются к качеству изоляционных материалов, применяемых в качестве диэлектриков между пластинами конденсаторов, а также при изготовлении радиодеталей для высокочастотных цепей. Здесь важно знать диэлектрическую проницаемость диэлектрика и угол потерь на рабочих частотах и температурный коэффициент. Радиомастеру важно также знать возможности обработки различных изолирующих материалов.

Все изолирующие материалы делят на два основных класса: неорганические и органические изолирующие материалы.

Неорганические изолирующие материалы. К этому классу относятся минеральные вещества и разнообразные сорта керамики. Все они отличаются огнестойкостью, значительной твердостью и плохо поддаются (за небольшим исключением) обработке. Таковы кварц, стекло, стеклоэмали, фарфор электротехнический и радиофарфор, большое количество специальных сортов керамики. Обработка изделий из этих материалов обычно сводится только к шлифовке опорных поверхностей. Пилить и сверлить можно мрамор, шифер и асбест. Слюда поддается штамповке.

Слюда. Диэлектрическая проницаемость для различных сортов изменяется в пределах от 4 до 8. Электрическая прочность от 50 до 200 *кв* при толщине 1 *мм*. Слюда расщепляется на очень тонкие пластинки, толщиной в несколько тысячных долей миллиметра, которые тем не менее обладают большой гибкостью и упругостью.

Наиболее распространены в электротехнике две разновидности слюды: мусковит, отличающийся высокой прозрачностью, и флогопит — большей частью бурого цвета. Мусковит — прекрасный диэлектрик для конденсаторов. Хорошие чистые сорта мусковита без пятен обладают ничтожным углом потерь (при $f = 1$ *мггц* $\operatorname{tg} \delta \approx 0{,}001$) и очень высоким удельным объемным сопротивлением, достигающим $(8 \div 10) \cdot 10^{14}$ *ом · см*. Флогопит обладает несколько худшими электрическими качествами, но весьма огнеупорен, поэтому широко применяется для изоляции электронагревательных приборов, работающих при температурах до 1 000° С. Все сорта слюды почти совершенно негигроскопичны.

Путем прессовки размельченной в порошок слюды с примесью борнокислого свинца или борной кислоты и сурика получают ценный изоляционный материал — м и к а л е к с, сочетающий хорошие диэлектрические и механические свойства с высокой теплостойкостью. Микалекс применяют для установочных изоляторов в мощной высокочастотной аппаратуре.

Мрамор. Главная составная часть мрамора — углекислая известь (содержит обычно и другие минеральные включения). В связи с простотой шлифовки и красивым внешним видом мраморные плиты применяют для монтажа распределительных щитов, для чего обычно берут белый мрамор. Из соображений прочности толщина плиты должна быть не менее 20 *мм*. Теплостойкость мрамора проявляется лишь при температурах до 100° С. Разлагается от действия крепких кислот. При радиочастотах мрамор не применяется из-за невысоких диэлектрических свойств.

Асбест (кремниевокислая магнезия) — минеральное вещество, перерабатываемое на шнуры, фитили и асбестовый картон. В сочетании с другими веществами применяется для приготовления асбестового шифера, асбоцемента, асбопластмасс и др. Все производные асбеста — огнеупорные материалы. Они обладают достаточно большим сопротивлением изоляции и применяются для изготовления каркасов нагревательных приборов и мощных сопротивлений.

Фарфоры. Различают три типа фарфоров: электротехнический (изоляторный), радиофарфор и ультрафарфор. Электротехнический фарфор по составу отличается большим содержанием полевого шпата, наличие которого обусловливает заметную гигроскопичность материала и сравнительно большой угол диэлектрических потерь, увеличивающийся при повышении температуры. В связи с этим применение электротехнического фарфора ограничивается приготовлением изоляторов для электротехники сильных токов.

Радиофарфор вместо полевого шпата наряду с увеличенным процентом каолина содержит углекислый барий. Радиофарфор, особенно покрытый глазурью, не чувствителен к большинству химических веществ, стоек по отношению к атмосферным воздействиям. Он обладает вдвое меньшим углом потерь, чем электротехнический фарфор. Кроме того, потери у радиофарфора начинают расти лишь при повышении температуры сверх 100—200° С. Из радиофарфора изготовляются каркасы катушек индуктивности для коротких волн, высококачественные ламповые панели и установочная изоляция высокочастотных деталей.

Ультрафарфор обладает еще более высокими качествами, чем радиофарфор, и применяется для изоляции высокочастотных цепей даже в ультракоротковолновой аппаратуре.

Высокочастотная керамика. Все большее значение приобретают обладающие высокими диэлектрическими свойствами искусственные керамические материалы. К ним относятся талькомагнезиальная керамика (стеатит, высокочастотный стеатит, кордиерит), глиноземистая керамика (алюминоксид, керамит), пирофиллитовая керамика, титановая керамика (тиглин, тиконд, термоконд, тибар). Все перечисленные типы керамики, за исключением кордиерита, негигроскопичны. Электрическая прочность для большинства керамик равна 15—20 *кв/мм.* Диэлектрическая проницаемость — порядка 5—10 для магнезиальной, глиноземистой и пирофиллитовой керамики, в пределах 12—25 для термоконда и тиглина, а для различных марок тиконда она достигает 60—160. У тибара диэлектрическая проницаемость превышает 1 000. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости у большинства керамик невелик, специальные же сорта конденсаторной керамики (тиглин, тиконд, термоконд) обладают отрицательным температурным коэффициентом, что позволяет изготовлять с их помощью конденсаторы, компенсирующие положительный температурный коэффициент контурных катушек. Керамика обладает небольшим углом потерь. Наибольшим углом потерь обладают пирофиллит и стеатит (обычный). Все керамические материалы огнеупорны и выдерживают температуры выше 1 000°. Применяется керамика не только в качестве диэлектриков для конденсаторов, но и в качестве установочной, а также в виде каркасов для высококачественных катушек.

Органические изолирующие материалы. К разряду органических изолирующих материалов относятся вещества животного (шелк, воск) и растительного (бумага, резина, канифоль, лаки, смолы и масла) происхождения, а также искусственные синтетические продукты, относящиеся к классу органических соединений (бакелиты, гетинакс, текстолит, полистирол, полихлорвинил, целлулоид и др.). За редким исключением, органические изолирующие материалы не обладают теплостойкостью и сохраняют свои электрические и механические качества при температурах, не превышающих 50—80° С, только лаки выдерживают температуру до 150° С. С другой стороны, все органические изолирующие материалы (кроме карболитов) поддаются механической обработке, что является их большим преимуществом. Диэлектрическая проницаемость большинства органических материалов не превышает 10. В отношении же угла потерь и гигроскопичности различные органические вещества резко отличаются друг от друга.

Воск пчелиный. Диэлектрическая проницаемость 2,5, электрическая прочность 20—25 *кв/мм*, температура плавления около 65° С, гигроскопичность почти отсутствует. Применяется для пропитки обмоток и хлопчатобумажных оплеток в целях придания им влагоустойчивости и стабилизации изоляционных качеств. Пчелиному воску близки по физическим и электрическим качествам озокерит (горный воск), применяемый для пропитки изоляции проводов и для заливки кабельных муфт, церезин, пригодный для пропитки изоляции высокочастотных деталей, в том числе бумажных конденсаторов, и парафин, применяе-

мый для пропитки конденсаторной бумаги и для заливки конденсаторов. Парафин является также прекрасным пропиточным материалом для снижения гигроскопичности дерева и фанеры.

Галовакс — искусственный пропиточный и заливочный материал. Отличается несколько большей теплостойкостью (до 110° С), чем воск и парафин, и обладает диэлектрической проницаемостью 5—6. Наряду с этим у галовакса больше угол диэлектрических потерь и меньше электрическая прочность (3—10 *кв/мм*). Пропитка контурных катушек чистым галоваксом не рекомендуется. Многие сорта галовакса разрушающе действуют на эмалевую изоляцию проводов и вызывают коррозию металлов.

Канифоль — продукт переработки смолы хвойных деревьев. Обладает высоким электрическим сопротивлением. Однако низкая механическая прочность и низкая температура размягчения мешают самостоятельному применению канифоли в качестве изолирующего материала. Канифоль широко применяется при пайке, а также в качестве составной части многих пропиточных, заливочных и покровных изолирующих материалов (компаундов). Растворяется канифоль в скипидаре, спирте, маслах и сероуглероде.

Шеллак — естественный продукт, относящийся к разряду смол. Отличается высокой склеивающей способностью и имеет относительно хорошие диэлектрические показатели. Клеящая масса приготовляется растворением сухого шеллака в спирте, ацетоне или растворе буры. Применяется для крепления витков катушек.

Резина — продукт вулканизации (нагревание с добавлением серы) каучука (естественной смолы растительного происхождения). В настоящее время наиболее распространена резина, изготовляемая из синтетического каучука. Для электротехнических целей применяется специальная резина (с примесью окиси свинца), не вызывающая коррозии металлов. Важнейшие применения резины в электротехнике — изоляция проводов и герметизация аппаратуры, особенно переносной. Кроме того, резина применяется и для механической амортизации радиоаппаратуры. Электроизоляционные свойства резины достаточно высоки, но в цепях высокой частоты большинство сортов резины вносит значительные потери.

Эбонит — материал, вырабатываемый из каучука. Легко обрабатывается и потому находит широкое применение в радиоаппаратуре. Наряду с удовлетворительными изоляционными свойствами обладает очень малой теплостойкостью (применение эбонита допустимо в узлах с нагревом не выше 40° С). Со временем свойства эбонита сильно изменяются, поэтому в высокочастотных цепях его не применяют. Часто вызывает окисление и коррозию металлов, особенно при нарушении температурного режима эксплуатации. На основе синтетического каучука изготовлена пластмасса — э с к а п о н, превосходящая эбонит по термостойкости и диэлектрическим качествам.

Карболиты — большое количество пластмасс, изготовляемых на основе композиции волокнистых и порошковых органических веществ со связующей смолой. Карболитовые изделия недороги и находят широкое применение в различных отраслях техники, в том числе и радиотехники. Диэлектрическая проницаемость карболита лежит в пределах 4—6 и заметно изменяется в зависимости от температуры. Угол диэлектрических потерь весьма велик и быстро растет при нагреве и увлажнении. Электрическая прочность колеблется для различных сортов от 2 до 10 *кв/мм.* Все карболиты в той или иной мере гигроскопичны. Теплостойкость карболитов в среднем ограничивается 100° С. Опыт эксплуатации радиодеталей с карболитовыми корпусами, основаниями или опрессовкой (в том числе сопротивлений ТО и опрессованных слюдяных конденсаторов) показал, что они обладают низким постоянством параметров и особенно плохо влияют на работу радиоаппаратуры при установке в цепях высокой частоты. Готовые карболитовые изделия трудно обрабатываются в силу присущей большинству карболитов хрупкости.

Гетинакс — слоистая пластмасса на бумажной основе. Обладает примерно такими же свойствами, что и карболиты. У гетинакса несколько выше электрическая прочность (до 20 *кв/мм*) и высока гигроскопичность. Диэлектрическая проницаемость 5—9. Применение гетинакса следует ограничивать изоляцией низкочастотных цепей и цепей питания. Обрабатывается гетинакс легко.

Текстолит — слоистая пластмасса на текстильной основе. Текстолит схож с гетинаксом, но менее гигроскопичен. Следует избегать применения текстолита в высокочастотных цепях из-за большой зависимости электрических свойств его от температуры и из-за большого угла потерь. Обрабатывается текстолит легко, но и легко ломается при сгибании. Текстолит, изготовленный на основе стеклянной ткани (с т е к л о т е к с т о л и т), обладает высокими диэлектрическими качествами и пригоден для изоляции высокочастотных цепей.

Полистирол — прозрачная стекловидная пластмасса. Превосходный высокочастотный диэлектрик. Электрическая прочность 50 *кв/мм*, угол диэлектрических потерь ничтожно мал ($\mathrm{tg}\,\delta \approx 0{,}0002$), диэлектрическая проницаемость около 2,5. Материал совершенно негигроскопичный. Единственным недостатком полистирола является общая особенность группы органических материалов — невысокая теплостойкость (60—80° С).

Детали из полистирола изготовляются литьем под давлением или прессовкой. Так как материал легко обрабатывается, то оказывается возможным изготовление деталей слесарными способами из полистироловых плиток. Приготовляются из полистирола самые разнообразные изоляционные детали, начиная от эластичных изоляционных лент (стирофлекс) и тонких прокладок (полифлекс) и кончая каркасами высококачественных контурных катушек и изоляцией ультравысокочастотных кабелей.

Полихлорвинил — прозрачный или окрашенный эластичный материал для изоляции проводов. Обладает высокой электрической прочностью (50 *кв/мм*), но отличается низкой теплостойкостью (50° С) и большим углом потерь ($\mathrm{tg}\,\delta$ на радиочастотах порядка 0,01). Гигроскопичность низкая, в связи с чем успешно применяется для антикоррозийной защиты подземных кабелей. Выпускается также в виде трубок для изоляции проводов при монтаже радиоаппаратуры.

Органическое стекло (плексиглас) выпускается бесцветным и окрашенным в различные цвета. Легко обрабатывается, полируется, допускает нанесение цифр, гравировку. Влагоустойчив. Теплостойкость до 60°, после чего размягчается. Может применяться как изолятор. Электрическая прочность 20 *кв/мм*, диэлектрическая проницаемость 3,5, $\mathrm{tg}\,\delta = 0{,}05$ при частоте 50 *гц*.

Электрокартон (прессшпан) применяется для изготовления каркасов трансформаторов и катушек. Выпускается четырех марок: ЭВ, ЭВТ, ЭМ и ЭМТ (наилучшего качества — электрокартон ЭМТ). Толщина электрокартона от 0,1 до 3,5 *мм*. Электрическая прочность около 10 *кв/мм*. Для придания влагостойкости изделия из электрокартона пропитывают парафином, церезином или специальными лаками.

Дерево. Электрические свойства дерева в сильной мере зависят от влажности, что и является основной причиной сокращения случаев применения дерева в качестве изолирующего материала. С точки зрения диэлектрических свойств из распространенных пород дерева наилучшими являются береза, дуб и бук. Для повышения влагоустойчивости дерево просушивают, а затем пропитывают парафином или канифолью. Целесообразно также окрашивание деревянных изоляторов масляным или асфальтовым лаком.

Бумага хлопчатая (совместно со всякого рода изоляционными пропиточными материалами) служит для изоляции проводов и в качестве диэлектрика для конденсаторов. Применяемая в радиопродукции бумага обладает особым химическим составом, обеспечивающим ее высокие диэлектрические свойства. Электрическая прочность конденсаторной бумаги составляет 30 *кв/мм*. Выпускается конденсаторная бумага толщиной от 0,006 до 0,024 *мм*. Из «намоточной изоляционной бумаги» изготовляются бумажно-бакелитовые трубки.

Ткани хлопчатобумажные и шелковые для изоляционных целей пропитываются специальными составами, большей частью лаками. Получаемые таким образом лакоткани приготовляются в виде листов (полотна) и трубок. Хлопчатобумажные лакоткани вырабатываются толщиной от 0,15 до 0,24 *мм*, а шелковые от 0,04 до 0,15 *мм*. Они обладают высоким удельным сопротивлением и достаточно влагостойки. Электрическая прочность хлопчатобумажной лакоткани 20—24 *кв/мм*, шелковой 40 *кв/мм*. Полотно применяется для изоляции обмоток в трансформаторах и других приборах. Трубки из лакоткани, окрашенные в разные цвета, выпускаются с внутренним диаметром от 0,5 до 10 *мм*. Применяются они для изоляции монтажных проводов.

Лаки, компаунды и битумы. Для защиты изоляционных материалов и металлов от действия влаги, для повышения диэлектрических свойств и уменьшения гигроскопичности изоляторов и для герметизации особенно важных деталей и узлов в электрорадиотехнике применяются покровные, пропиточные и заливочные лаки и компаунды. И те и другие состоят из вещества, образующего прочную, негигроскопичную пленку, а в состав лаков, кроме того, входит легко высыхающий растворитель.

Битумы (аморфные вещества черного цвета с минеральными наполнителями) служат для заливки элементов и аккумуляторов. Для пропитки низкочастотных и высокочастотных катушек и трансформаторов применяется галовакс-канифольный компаунд. Покровными и заливочными компаундами для тех же целей служат галовакс-церезиновые и галовакс-битумные. Для пропитки волокнистых материалов применяется галовакс-канифольный компаунд. Из лаков для пропиточных целей служат глифталевый, асфальтовый и бакелитовый. Хоро-

шими покровными лаками для металлов являются масляные, эфиро-целлюлозные нитролаки (наносятся на слой «грунтового» масляного лака) и лак цапон. Для покрытия высокочастотных катушек применяют полистирольный лак (раствор полистроловой стружки в ацетоне) и шеллачный (раствор шеллака в спирте). Лаки являются также хорошими клеящими веществами. Электрическая прочность компаундов лежит в пределах 10—20 *кв/мм*, а лаков 20—60 *кв/мм*.

* * *

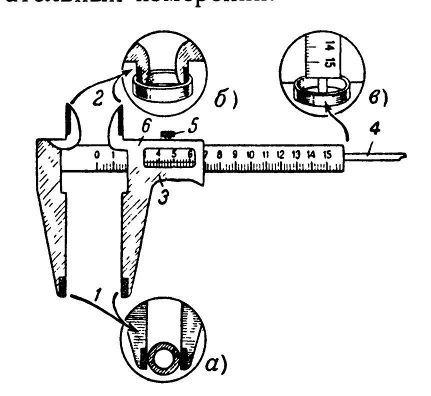
ГЛАВА ШЕСТАЯ

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СЛЕСАРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ РАБОТ

1. ИЗМЕРЕНИЯ И РАЗМЕТКА

Измерения. Для выполнения слесарно-механических работ радиомастеру могут понадобиться следующие измерительные инструменты: мерительные линейки, штангенциркули, микрометры и ряд других инструментов, как, например, щуп, резьбомер, угломер и др.

Мерительные линейки, к числу которых относятся и стальные складные и ленточные метры, пригодны только для приближенных и вспомогательных измерений.



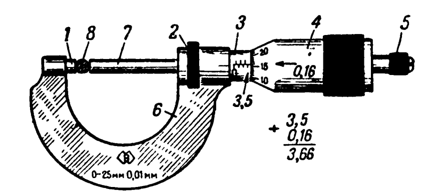
Фиг. 6-1. Штангенциркуль.

а — измерение наружных размеров; *б* — измерение внутренних размеров; *в* — измерение глубины; *1* — губки; *2* — губки нутромера; *3* — нониус; *4* — глубиномер; *5* — стопорный винт; *6* — рамка.

К наиболее широко применяемым *штангенциркулям* относится такой, который соединяет в себе собственно штангенциркуль, нутромер и глубиномер (фиг. 6-1).

Измерение штангенциркулем (измерение наружных размеров) показано на фиг. 6-1,*а*. Предмет, с которого снимается размер, зажимают между губками обеих ножек, причем надо избегать чрезмерного нажима на подвижную ножку. Закрепляющий рамку стопорный винт позволяет вместе с нею закрепить найденный размер. Чтобы штангенциркулем можно было определять десятые доли миллиметра, на нем имеется «нониус» — добавочная шкала, нанесенная на кромке подвижной рамки. Эта шкала состоит из десяти делений, которые соответствуют девяти делениям на шкале неподвижной линейки. На первом штрихе нониуса отсчитывают размер в целом числе миллиметров, а на совпадающих друг с другом штрихах нониуса и неподвижной шкалы отсчитывают добавочные десятые доли миллиметра.

Подобным же образом определяются внутренние размеры. Для этого служат губки нутромера (фиг. 6-1,*б*), которые вводятся в измеряемое отверстие и раздвигаются до упора с небольшим нажимом в стенки отверстия. Закрепив рамку стопорным винтом, отсчитывают размер, как указано выше.



Фиг. 6-2. Микрометр.

1 — пятка; *2* — стопор; *3* — стебель; *4* — барабан; *5* — головка; *6* — скоба; *7* — микрометрический винт; *8* — измеряемое изделие.

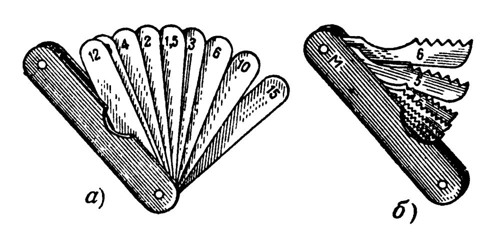
Измерение глубины отверстий, пазов и канавок производится глубиномером (фиг. 6-1,*в*). Результаты измерений отсчитываются также с помощью нониуса. Точность измерения штангенциркулем обычно равна 0,1 *мм*.

Микрометр позволяет определять размеры с точностью до 0,01 *мм*. Его устройство, название отдельных частей и способов измерения им указаны на фиг. 6-2. Микрометрический винт приводится в движение головкой *5* барабана и прижимает изделие к пятке. По окружности барабана нанесено 50 делений. Повороту барабана на одно деление соответствует перемещение микрометрического винта на 0,01 *мм*. На стебле микрометра нанесены миллиметровая и полумиллиметровая шкалы. Измеренный размер получается как сумма двух отсчетов: по шкале на стебле и по шкале на барабане. На фиг. 6-2 видны три полных и половина миллиметра, что соответствует 3,5 *мм*, а на барабане

отсчитываем еще 16 делений, которые надо прибавить как сотые доли к 3,5 *мм*, так что результат измерения равен 3,66 *мм*.

С измерительными инструментами надо обращаться бережно и хранить их в особых футлярах.

Перед каждым измерением следует проверить, точно ли на нуле стоят плотно сдвинутые между собой ножки штангенциркуля или завинченный барабан микрометра и не дают ли они просвета. После работы надо измерительные инструменты чистить и слегка смазывать белым вазелином.



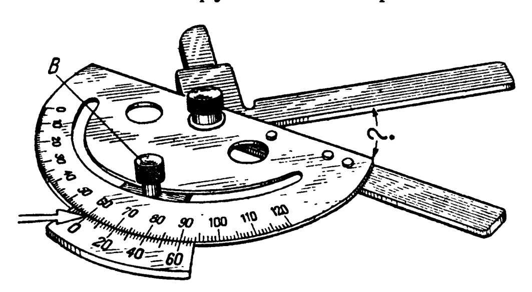
Фиг. 6-3. Щуп (*а*) и резьбомер (*б*).

Для измерения малых расстояний (зазоров) между небольшими деталями (например, зазора между контактами реле) применяют *щуп* (фиг. 6-3,*а*). Набор пластин в щупах обычно имеет предельные размеры 0,05 *мм* и 2 *мм*. Толщина каждой пластины указывается на ней в десятых долях миллиметра. Так, например, пластина щупа с числом 1,5 имеет толщину 0,15 *мм*.

Для определения шага резьбы болтов и гаек в слесарной практике применяется *резьбомер* (фиг. 6-3,*б*). Пластинки резьбомера с профилями резьбы различных шагов последовательно накладываются на проверяемую резьбу. На пластинке, профиль резьбы которой точно совпадает с проверяемой резьбой, читают размер шага резьбы. Резьбомеры бывают двух типов: для метрической резьбы (на них ставится знак «60°» или «М») и для дюймовой (со знаком «55°» или «Д»)*, причем на пластинках дюймовых резьбомеров указывается не размер шага резьбы, а количество ниток на 1 дюйм.

Для измерения углов применяются жесткие угольники (большей частью с прямым углом, но бывают также с углами в 30, 60 и 120°) и угломер с одной подвижной линейкой (фиг. 6-4). Неподвижную линейку, к которой прикреплен полудиск с градусной шкалой, прижимают к одной кромке угла измеряемого изделия, а подвижную передвигают вращением винта *В* до совпадения ее с другой прямой. Угол отсчитывается на шкале полудиска, снабженной нониусом.

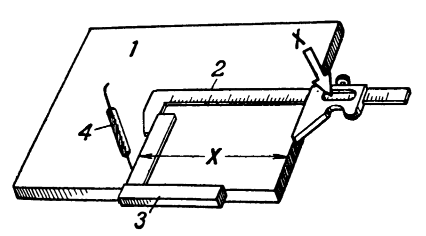
Разметка. Для разметки используются как указанные выше инструменты (линейки, угольники и штангенциркули), так и специальные разметочные инструменты и приспособления,



Фиг. 6-4. Угломер.

как, например, игла-чертилка, рейсмус, циркуль, плита и др. Кроме того, нужны кернер и молоток для нанесения углублений (накернивания).

На плоскую деталь размеры переносят со штангенциркуля с помощью приложенного к ней угольника или линейки (фиг. 6-5). Штангенциркуль должен служить только для измерения, но не для нанесения рисок. На практике для разметки применяют специальный разметочный штангенциркуль. При прочерчивании



Фиг. 6-5. Разметка плоских деталей.
1 — размечаемая плоскость; *2* — штангенциркуль; *3* — угольник; *4* — игла-чертилка.

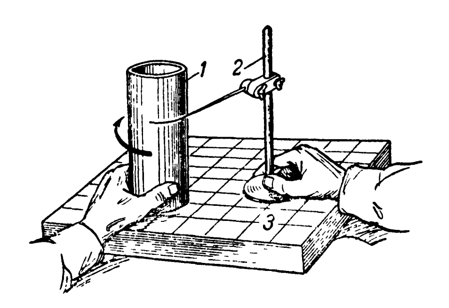
рисок иглой надо следить за тем, чтобы острие иглы скользило вдоль нижней кромки линейки и чтобы у иглы было хорошее и длинное острие.

Рейсмус позволяет наносить линии, которые должны быть расположены на определенной высоте над измерительной плитой. Если сам рейсмус не имеет шкалы, то для установки его чертилки применяют вертикальную масштабную линейку. При разметке деталей с помощью рейсмуса и деталь и рейсмус устанавливают на плиту со строго горизонтальной плоской поверхностью (фиг. 6-6).

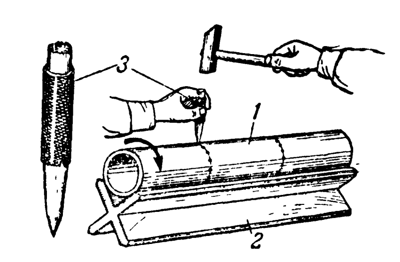
Кернение круглых деталей производится в призмах (фиг. 6-7). Укажем некоторые приемы разметки центров отверстий. Для повышения

* 1 дюйм = 25,4 *мм*.

точности центрирующие линии должны быть проведены по возможности перпендикулярно друг к другу. При необходимости найти центр круга проводят две любые хорды и восстанав-

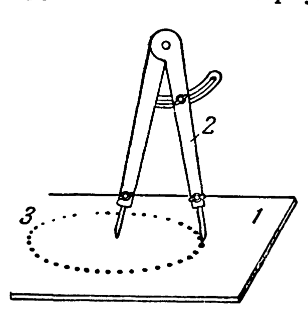


Фиг. 6-6. Разметка деталей по высоте
1 — деталь; *2* — рейсмус; *3* — плита.



Фиг. 6-7. Кернение круглых деталей.
1 — деталь; *2* — призма; *3* — кернер.

ливают в их средних точках перпендикуляры к ним, точка пересечения которых и определяет центр круга. Если в заготовке должны быть выбраны крупные отверстия, то надо их контур по возможности точно очертить (например, круг с помощью циркуля) и в пределах этого контура нужно накернить метки для сверления так, чтобы очерченный контур при сверлении оставался все время виден. Для этого кернение производится внутри контура и на расстоянии от него, равном половине диаметра применяемого сверла (фиг. 6-8). На кривых линиях для получения правильного контура нужно накернить возможно больше точек.

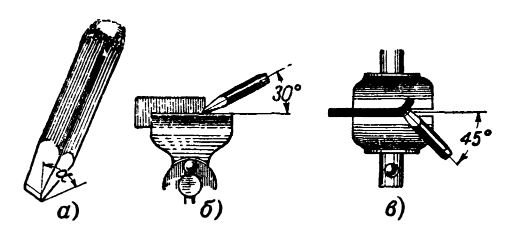


Фиг. 6-8. Выборка больших отверстий.
1 — деталь; *2* — разметочный циркуль; *3* — точки, нанесенные кернером после нанесения контурной линии циркулем.

Окружности после разметки их центров, каждый из которых определяется двумя пересекающимися прямыми, накерниваются. Удар по кернеру должен быть резким и сильным. Конец кернера должен быть заточен под углом 40°, но в случае больших отверстий рекомендуется дополнительное накернивание кернером с углом около 60°.

2. РУБКА, РЕЗКА И РАСПИЛОВКА

Рубка. С рубкой приходится встречаться главным образом при отрубании листового материала или при вырубке в нем отверстий. Основной инструмент при рубке — молоток и зубило. Нужны также прочные тиски для



Фиг. 6-9. Положение зубила при рубке.
а — заточка зубила; *б* — вид сбоку; *в* — вид сверху.

зажимания материала или плита, на которую он кладется. Чтобы работа шла успешно, необходима правильная заточка зубила. Угол α режущей грани его, т. е. угол заострения (фиг. 6-9,*а*), выбирается равным: для чугуна и бронзы $\approx 70°$, для стали $\approx 60°$, для латуни и меди $\approx 45°$, для цинка и алюминия $\approx 35°$. Таким образом, желательно иметь несколько зубил, но, в крайнем случае, можно обойтись одним с углом в 60°. Разновидностью зубила является крейцмейсель, служащий для вырубания узких канавок и небольших отверстий.

Молоток для рубки желателен весом в 400—600 *г*.

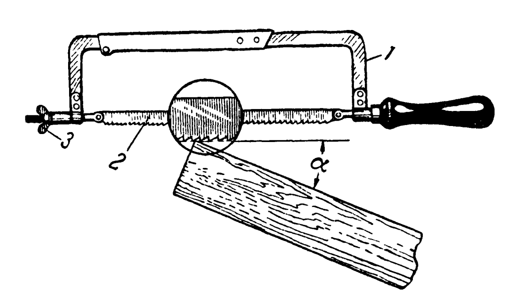
При отрубании материала последний должен быть очень прочно зажат в тисках по линии отреза. Зубило устанавливают в край отрубаемого листа под углом примерно в 30° к горизонту и в 45° к плоскости листа (фиг. 6-9,*б* и *в*) и, придерживая его левой рукой, правой наносят сильные удары молотком по головке зубила. По мере отрубания зубило двигается справа налево.

При вырубании отверстий лист кладут на незакаленную стальную плиту (наковальню), зубило устанавливают вертикально и сильными ударами молотка производят рубку по намеченному контуру, несколько отступя от него, с тем чтобы последующей обработкой напильником получить ровный край контура.

Резка и распиловка. Подготовка и грубая обработка заготовки для какой-либо детали

начинаются с резки материала. Ручная резка материала, если ее невозможно выполнить ножницами, производится ножовкой.

Ручная ножовка состоит из стальной скобы (станка) с ручкой, натяжного винта для закрепления ножовочного полотна и самого полотна (фиг. 6-10). Полотно должно быть укреплено в станке так, чтобы зубья были направлены вперед, а не назад, и должно быть



Фиг. 6-10. Положение ножовки при резке.
1 — станок; 2 — полотно; 3 — натяжной винт.

натянуто винтом настолько туго, чтобы не изгибалось во время работы. При ходе вперед надо на ножовку слегка нажимать, ход назад должен происходить без нажима.

Зубья ножовки разведены попеременно в обе стороны, так что пропил получается большей ширины, чем толщина полотна ножовки. Это предотвращает заедание полотна в пропиле и облегчает распиловку материала большого сечения. Число ходов в минуту зависит от твердости и вязкости материала. Сталь, например, отрезают (пилят) сравнительно медленно (около 60 ходов в минуту); другие, менее твердые материалы можно пилить быстрее.

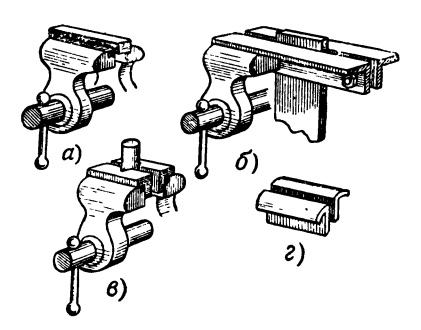
Распиливаемый материал зажимается в тиски таким образом, чтобы из них выступал только срезаемый конец. При распиловке надо следить, чтобы пропил получался прямым и точным. Положение ножовки и направление ее зубьев показаны на фиг. 6-10. Угол наклона α полотна ножовки относительно материала должен быть по возможности мал.

При распиловке труб по окружности нужно постепенно их поворачивать, иначе легко повредить ножовку или при тонкостенной трубе сделать в ней вмятины.

Узкие шлицы, щели и прорези нужно пропиливать тонкими полотнами, которые можно приготовить из обычных, сточив боковые плоскости разведенных зубьев на наждачном круге.

3. ОПИЛИВАНИЕ И ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ

Опиливание. Чтобы опилить деталь, необходимо закрепить ее в тисках. Лучше всего пользоваться параллельными тисками. Тиски надо так прикрепить к рабочему столу, чтобы работать на них было удобно. Верхняя часть губок тисков должна быть на высоте локтя рабочего. Зажимные плоскости тисков имеют губки с рифлеными внутренними поверхностями. Для хорошего опиливания нужно изделие надежно и правильно зажать в тиски.



Фиг. 6-11. Закрепление заготовок в параллельных тисках (Т).
а — закрепление коротких заготовок; б — закрепление длинных заготовок; в — закрепление круглых заготовок; г — накладные губки.

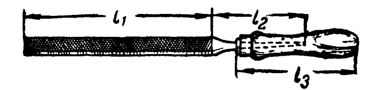
Изделия с параллельными кромками зажимают в тисках таким образом, чтобы выше губок выступала только обрабатываемая часть (фиг. 6-11,*а*). Предметы, по длине превосходящие размер губок тисков, необходимо несколько раз переставлять, чтобы работать только в пределах размера губок тисков. При опиливании свободно выступающего конца изделие вибрирует, что приводит к неправильному опиливанию. В этом случае применяют зажимные угольники (фиг. 6-11,*б*).

Круглые изделия, главным образом тонкостенные трубы, зажимаются в специальных вставках, имеющих призматические выемки (фиг. 6-11,*в*).

Для грубой обработки вполне пригодны рифленые губки в параллельных тисках, но когда появляется опасность деформации изделия или повреждения его поверхности, нужно применять, кроме основных, еще и накладные губки (фиг. 6-11,*г*) из мягких металлов, например из красной меди, алюминия или свинца. Накладные губки полезно применять не только для предохранения от порчи закрепляемых деталей, но и для защиты основных губок тисков от повреждения их напильником и для предохранения от порчи самих напильников. Полированные изделия, требующие дополнительной

обработки, надо зажимать в картонных или кожаных вкладышах, приклеенных к рифленым губкам тисков клеем или клейким воском.

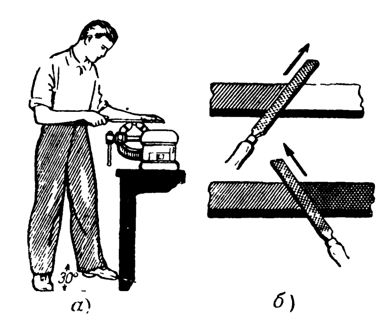
Выбор напильников для опиливания производится в соответствии с формой, размерами и твердостью опиливаемой заготовки и характером опиливания. С точки зрения характера



Фиг. 6-12. Насадка ручки напильника.
l_1 — рабочая длина напильника; l_2 — длина хвоста; l_3 — длина ручки, равная $^3/_2$ длины хвоста.

опиливания можно различать: 1) грубую обработку (обдирка), когда снимается много металла; 2) предварительную подготовку изделий к более точной отделке и 3) отделку изделий с той или иной степенью точности.

Напильники различают по размерам, форме и типу насечки. По типу насечки различают напильники драчевые, личные и бархатные.

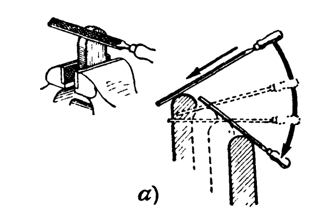


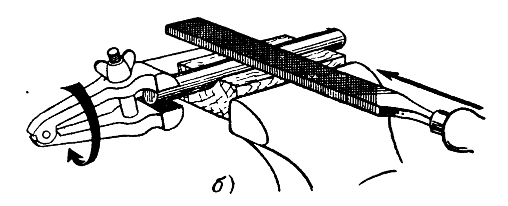
Фиг. 6-13. Крепление тисков к столу, рабочая „стойка" при работе напильником и опиливание вперекрестку.

Насечки бывают ординарные и перекрестные (двойные). Для твердых металлов более пригодна перекрестная насечка, для мягких — ординарная. Особый класс напильников образуют рашпили, у которых насечка представляет большие короткие зубцы в виде пирамидок, расставленных в шахматном порядке.

Для удобства работы с напильниками на них насаживают ручки (фиг. 6-12).

Положение тела (стойка) рабочего (фиг. 6-13,*а*) при опиливании и самый процесс опиливания имеют не меньшее значение для качества работы, чем выбор напильника. Правильное положение тела предотвращает преждевременное утомление. Параллельные ходы напильника — непременное условие получения безупречных плоскостей. Напильник можно двигать только в его осевом, продольном направлении, но ни в коем случае не в косом, так как тогда он рвал бы поверхность. Чтобы проверить, в каких местах напильник опиливает, надо от времени до времени менять направление опиливания (фиг. 6-13,*б*), тогда получаются противоположные полоски и по отблеску ясно видно, как надо изменить обработку или направление опиливания. Усилие рук при опиливании должно изменяться таким





Фиг. 6-14. Опиливание закруглений и круглых стержней.

образом, чтобы при движении напильника вперед усилие правой руки увеличивалось, а левой уменьшалось.

Закругления следует всегда опиливать сначала в поперечном направлении. Только при последующей отделке их опиливают продольно, чтобы придать им гладкость (фиг. 6-14,*а*). Начиная с задней кромки закругления, надо вести напильник в продольном направлении вперед и в то же время по дуге окружности вокруг закругления так, чтобы хвостовой край насечки отделывал переднюю кромку.

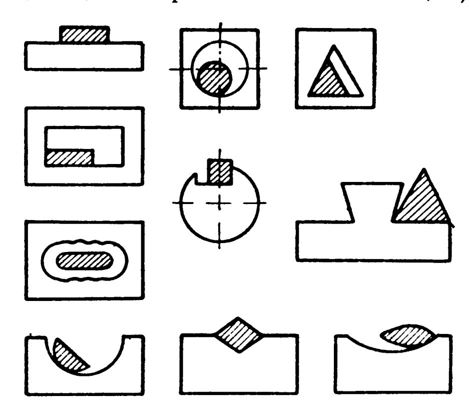
Круглые предметы можно опиливать в призме, причем их в процессе опиливания непрерывно поворачивают в направлении опиливания (фиг. 6 14,*б*).

Применение напильников различной формы определяется формой обрабатываемой поверхности (фиг. 6-15).

Правильность опиливания плоскостей проверяют стальной линейкой, для чего ставят ее наклонно ребром на изделие и держат против света линейку и изделие. Наличие просветов указывает на наличие неровностей. Обработку надо продолжать, пока не будет просвета в месте соприкосновения линейки и изделия.

Основные правила опиливания. 1. Верхний край тисков должен находиться на уровне локтя. 2. Поверхности вставок тисков надо очищать от стружек и хорошо смазывать. 3. Рукоятку тисков следует затягивать только вручную. 4. Изделие нужно зажимать плотно, чтобы обрабатываемая поверхность была неподвижна и не пружинила. 5. Никогда не следует зажимать изделие за его конец. 6. Круглые изделия и трубы нужно зажимать в тисках между призмами. 7. Плоские широкие части, которые трудно закрепить в тисках непосредственно, надо укреплять (гвоздями) на деревянной планке и зажимать в тисках эту планку. 8. Изделия, которые легко повредить, зажимаются между вставками из мягкого металла (свинца), картона или кожи. 9. При опиливании надо принять правильную стойку. Верхняя часть туловища должна оставаться спокойной; перемещать главным образом руки. 10. Размеры напильника определяются размерами обрабатываемой поверхности: чем больше поверхность, тем больше должен быть размер напильника. 11. Драчевые напильники предназначаются для грубого опиливания (когда надо снять слой толще чем 0,2—0,5 *мм*). 12. Личные напильники служат для дальнейшей отделки грубо обработанных поверхностей (точность от 0,002 до 0,2 *мм*). 13. Бархатными напильниками производится окончательная отделка (точность от 0,005 до 0,01 *мм*) высококачественных частей. 14. Для обработки небольших участков, отверстий и мелких деталей применяют маленькие напильники (надфили). 15. Свинец, олово, алюминий и его сплавы, а также мягкие металлы предварительно опиливаются рашпилями и дополнительно драчевыми и полудрачевыми напильниками. Личные напильники применять для опиливания этих материалов не следует. 16. Никогда не надо опиливать закаленные части. 17. Новые напильники сначала нужно применять для опиливания латуни, меди, алюминия, более старые — для стали и тупые — для чугуна и шероховатых поверхностей. 18. Заусенцы снимаются личным напильником. 19. На рабочем месте должно лежать столько напильников, сколько требуется для данной работы. 20. По окончании работы напильники убираются в ящик вычищенными. 21. Не следует бросать напильники и класть их друг на друга. 22. Чистку напильника с забитой насечкой нужно производить только щетками и кистями из мягкой стальной проволоки.

Обработка поверхностей. Наряду с отделкой поверхностей напильниками практикуются и другие приемы обработки поверхностей, из которых в радиомастерской могут применяться: а) шлифовка вращающимся шлифовальным кругом или вручную наждаком; б) травление (сталь — 10%-ным раствором серной кислоты с дальнейшим ополаскиванием в слабом растворе соды, алюминий — 10%-ным раствором едкой щелочи с прополаскиванием в 1%-ном растворе соляной кислоты); в) чистка вращающейся проволочной щеткой; г) бар-



Фиг. 6-15. Примеры применения напильников различной формы.

хатное опиливание напильниками или шабрение (выскабливание своего рода стамесками — шаберами); д) полирование (матерчатыми кругами с нанесенными на них полирующими пастами — ГОИ, крокс) прошедших хорошую предварительную обработку поверхностей; е) покрытие бесцветным защитным лаком (лакировка цапоновым лаком) высококачественно обработанных или полированных поверхностей.

4. СВЕРЛЕНИЕ, РАЗВЕРТЫВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ И РАЗЗЕНКОВЫВАНИЕ

Сверление. Для сверления металлов и изолирующих материалов применяются в настоящее время почти исключительно спиральные сверла и только для особо малых отверстий (приблизительно от 0,05 до 0,2 *мм*) перовые сверла.

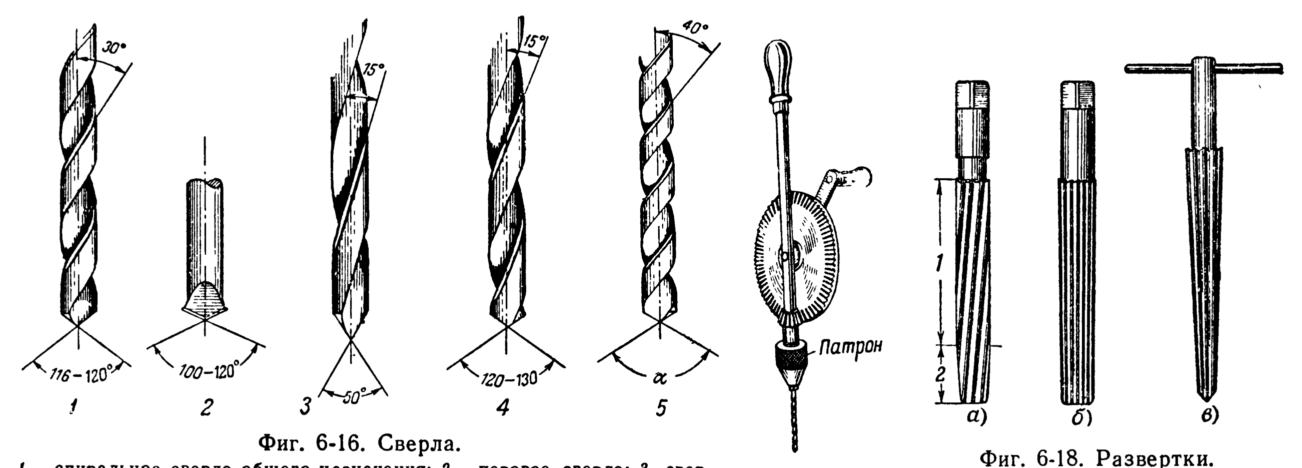
Спиральное сверло (фиг. 6-16) обладает спирально изогнутой плоскостью резания с центрически к ней пришлифованным углом при вершине, который в среднем должен равняться 116—120° применительно к большинству твердых и мягких материалов. Наряду с углом при вершине для характеристики спирального сверла имеет существенное значение угол наклона канавки относительно продольной оси. Этот угол в среднем равняется 30—35°. Для сверления некоторых металлов и изолирующих материалов применяются специ-

альные спиральные сверла, обеспечивающие более производительную работу.

Сверление производится ручной (фиг. 6-17) или электрической дрелью, а также на сверлильных станках. Дрель должна быть при сверлении расположена точно по отвесу, чтобы получались круглые отверстия требующегося диаметра.

дения. 5. Тупыми сверлами работать нельзя, так как они нагреваются и теряют свою закалку.

Развертывание отверстий. Отверстия, в которых точность диаметра и гладкость стенок имеют большое значение, дополнительно разворачиваются развертками. Просверлив отверстие на 0,1—0,2 *мм* уже требующегося, его



Фиг. 6-16. Сверла.

1 — спиральное сверло общего назначения; *2* — перовое сверло; *3* — сверло для сверления некерамических изоляционных материалов; *4* — сверло для сверления латуни и алюминиевых сплавов; *5* — сверло для сверления красной меди (α=125°) и алюминия (α=140°).

Фиг. 6-17. Дрель.

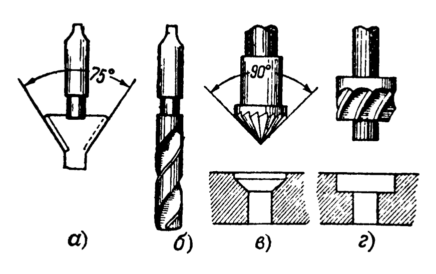
Фиг. 6-18. Развертки.

а — цилиндрическая развертка (*1* — калиброванная часть, *2* — „заборная" часть); *б* и *в* — конические развертки.

Сверлильный станок с механическим приводом для достижения большей производительности требует точного соблюдения числа оборотов, скорости резания и подачи, которые зависят от твердости и рода обрабатываемого материала и от диаметра отверстия. Нужно применять при сверлении охлаждающие средства, одновременно служащие и для смазки. При сверлении твердой стали применяют скипидар или смесь из мыльной воды и льняного вареного масла, для красной меди — вареное масло, для мягкой стали — вареное масло или мыльную воду или же слабый раствор соды, для мягких металлов, как, например, алюминий, — керосин. Небольшие отверстия в латуни сверлят без охлаждения при большом числе оборотов и большой подаче. При сверлении чугуна и бронзы применять эмульсии не следует, потому что мелкие опилки этих металлов, попадая в эмульсию, способствуют еще большему нагреванию и износу сверла.

Некоторые правила сверления. 1. Заточка сверла должна быть строго центрована и ее следует, по возможности, производить на специальном станке. 2. Закрепив сверло в патроне, надо проверить, что оно не бьет. 3. При сверлении больших отверстий предварительно просверливаются направляющие отверстия небольшим сверлом. 4. Сталь и алюминий требуют при сверлении особенно сильного охлаж-

развертывают затем до точного размера соответствующей разверткой (фиг. 6-18). Различаются ручные и машинные, приспособленные для крепления на станках, развертки. Ручные развертки бывают прямые и конические. Зубья у прямых разверток бывают прямые, парал-



Фиг. 6-19. Зенкеры и зенковки.

а — перовой зенкер; *б* — спиральный зенкер; *в* — коническая зенковка; *г* — цилиндрическая зенковка.

лельные оси или расположенные по винтовой линии. Конические развертки служат для развертывания отверстий под конические штифты.

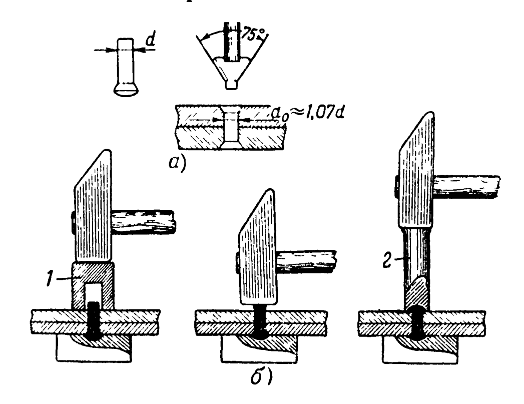
Раззенковывание. Отверстия иногда раззенковываются для получения особенно гладкой поверхности и для введения в них винтов с потайными головками, заклепок с утопленными головками и т. п. Различают перовые (плоские), спиральные зенкеры и зенковки, служа-

щие для рассверливания выходной части отверстия (фиг. 6-19). Для получения гладких раззенковок рекомендуется при раззенковывании отверстий пользоваться тем же смазочным материалом, с каким они были просверлены.

Для конического раззенковывания отверстий пригодны также спиральные сверла с углом при вершине 90°. Зенкер или спиральное сверло должны соответствовать диаметру головки винта, чтобы, кроме конуса, раззенкован был небольшой цилиндр: тогда поверхность головки винта и поверхность изделия будут лежать в одной плоскости.

5. КЛЕПКА

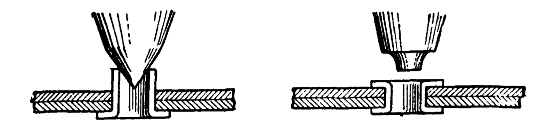
Клепка применяется главным образом при соединении листовых материалов или плоских деталей. Заклепочное соединение может быть закрытым (потайная клепка) или открытым, когда головка заклепки выступает над поверхностью детали. Потайная клепка применяется при соединении сравнительно толстых листов.



Фиг. 6-20. Заготовка отверстия под заклепку (*а*) и открытая клепка (*б*).
1 — натяжка; *2* — обжимка.

Распространенными заклепками являются заклепки с полукруглой, конической и плоской головками; кроме того, применяются пустотелые заклепки или пистоны. При потайной клепке заклепочные отверстия, просверленные по диаметру стержня заклепки, раззенковываются с наружных сторон перовым или спиральным зенкером с углом около 75° (фиг. 6-20,*а*). После расклепки выступающие части гладко опиливаются. Открытая клепка с применением заклепки с полукруглой головкой выполняется так, как это указано на фиг. 6-20,*б*. Склепываемые части уплотняют друг с другом при помощи натяжки. Затем расклепывают выступающий стержень заклепки и с помощью обжимки придают ему вид полукруглой головки. Выступающий конец заклепки должен быть не длиннее 1—1,5 диаметра заклепочного отверстия. Слишком длинные стержни заклепок надо предварительно укорачивать. Для получения безупречного заклепочного соединения обжимка должна при клепании стоять вертикально.

Клепка пистонами показана на фиг. 6-21. Развальцовка кернером недостаточно прочна и



Фиг. 6-21. Клепка пистонами.

является предварительной операцией. При отсутствии специальной обжимки окончательное закрепление производится ударами небольшого молотка. Латунь и алюминий во избежание их коррозии можно склепывать только заклепками из того же материала, т. е. соответственно латунными и алюминиевыми. Для жести, стали и меди пригодны также заклепки из мягкой стали.

6. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ

Главными видами резьбы являются метрическая основная, метрическая мелкая и дюймовая. В практике радиомастера применяется почти исключительно система метрической резьбы. Наиболее употребительны в ней наружные диаметры (болта): 1,7; 2; 2,6; 3; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10 *мм*. В системе дюймовой резьбы наиболее употребительны номинальные диаметры: $^1/_4''$; $^5/_{16}''$; $^3/_8''$; $^1/_2''$.

Гайки (внутренняя резьба) нарезаются метчиком, вставляемым в вороток (фиг. 6-22,*а*), болты (наружная резьба) — круглыми или призматическими плашками, вставляемыми в клупп (фиг. 6-22,*б*). Диаметр отверстия под резьбу, а следовательно, и диаметр сверла должны соответствовать внутреннему диаметру нарезки, который можно при метрической резьбе приближенно определить, умножив наружный диаметр нарезки на 0,8 (фиг. 6-22,*в*). Более точные данные можно получить из табл. 6-1.

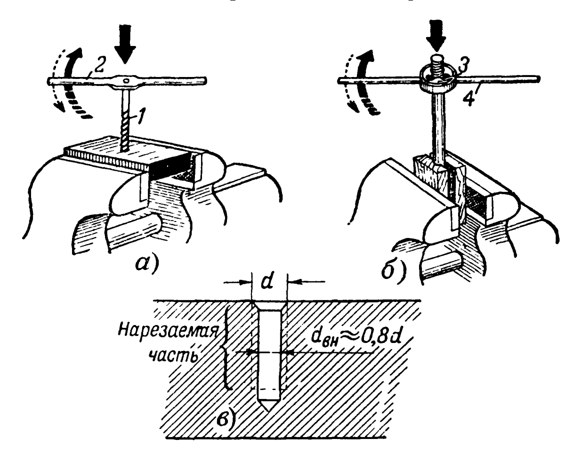
Перед началом нарезания выходная часть отверстия раззенковывается под наружный диаметр нарезки.

Для мелкой резьбы существуют метчики с удлиненной заборной частью, которыми нарезают резьбу в один проход. Резьбу более крупную или в более вязких материалах нарезают в три прохода и применяют для этого

Таблица 6-1

Наружный диаметр нарезки, *мм*	1	1,2	1,4	1,7	2	2,3	2,6	3	3,5	4	5	6	8	10	12
Диаметр сверла, *мм* . . .	0,75	0,95	1,1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,5	2,9	3,3	4,1	4,8—4,9	6,5—6,7	8,2—8,4	9,9—10,2

набор из трех метчиков: 1) чернового, или начального, 2) получистового, или среднего, и 3) отделочного. Метчики в этом порядке помечены цифрами или отличаются соответственным числом колец на хвосте. Внутреннюю резьбу, как уже указывалось, нарезают при помощи воротка с четырехгранным отверстием, в которое вставляется метчик. Направлять метчик надо всегда вертикально. При нарезании



Фиг. 6-22. Нарезание резьб.

а — внутренней резьбы; *б* — наружной резьбы; *в* — заготовка отверстия и стержня под резьбу; *1* — метчик; *2* — вороток; *3* — плашка; *4* — клупп.

резьбы обычно делают один оборот (сплошная стрелка), затем полоборота назад (пунктирная стрелка), потом опять один оборот и т. д. (фиг. 6-22,*а*). Это делается для получения более короткой и легко отделимой стружки.

Наружную резьбу (фиг. 6-22,*б*) нарезают на стержнях, обточенных до диаметра, равного наружному диаметру нарезки. Если стержень (болт) зажимается в тисках обработанной стороной, то это нужно делать с помощью призм. Плашку навертывают на стержень так, чтобы плоскость ее была строго перпендикулярна стержню. Резьбу нарезают так же, как и метчиком, т. е. после каждого оборота по часовой стрелке делают полоборота в обратном направлении и т. д.

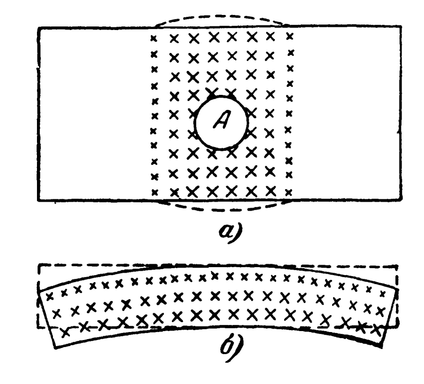
При нарезании резьб следует пользоваться смазочными материалами (см. табл. 6-2). При нарезании грубых резьб во всех случаях можно пользоваться салом или, в крайнем случае, машинным маслом.

Таблица 6-2

Обрабатываемый материал	Смазочный материал
Сталь	Вареное сурепное масло, лярдовое масло
Чугун	Сало, керосин
Медь	Лярдовое масло, скипидар
Латунь	Мыльная вода, акволь
Алюминий	Керосин
Эбонит	Машинное масло

7. ПРАВКА И ИЗГИБАНИЕ

Правка. Для получения плоских поверхностей, исправления короблений и т. п. используют прием, называемый правкой или рихтовкой. Прежде всего надо найти на материале



Фиг. 6-23. Правка.

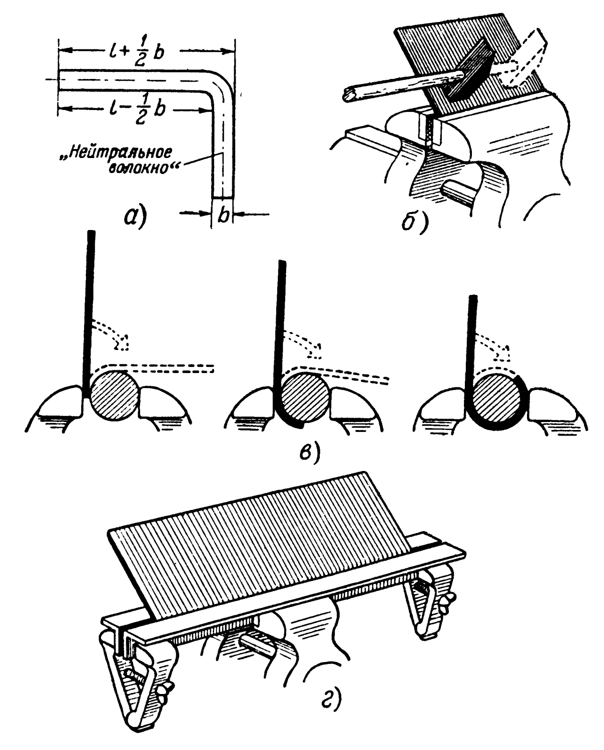
а — устранение вмятин (*А*); *б* — правка полосы. Крестиками намечены точки нанесения ударов молотком. Чем больше крестик, тем сильнее удар в соответствующей точке. Пунктирными линиями показаны контуры листа после правки.

покоробленные места и обвести их мелом. Затем выправляемый материал (лист, полосу и пр.) кладут на специальную плиту, называемую рихтовочной, при этом выпуклости должны быть обращены наружу.

Процесс правки состоит в нанесении равномерных ударов молотком в н е пределов покоробленных мест. Это приводит к натягивания покоробленных частей материала, в результате чего они выпрямляются. Как располагать удары молотка, иллюстрирует фиг. 6-23. Стальные листы толщиной от 1 *мм* и толще

правят деревянным или гладко отшлифованным стальным молоточком с выпуклым бойком (гладильником). Жесть и мягкие материалы правят деревянным, свинцовым или резиновым молотком. Нельзя ударять боковыми гранями молотка, а также наносить удары по самим выпуклостям.

Изгибание. Изгибание под прямым углом производят непосредственно в тисках, наметив



Фиг. 6-24. Изгибание.

а — деформация листа при изгибании; б — изгибание полосы под прямым углом; в — изгибание полосы по кругу; г — изгибание больших листов.

предварительно риской линию изгиба на материале. Чтобы точнее определить размеры, нужно помнить, что внутренняя стенка в месте перегиба сжата, а наружная — растянута (фиг. 6-24,*а*); в неизменном состоянии остается только средняя линия — так называемое нейтральное волокно. Если, например, снаружи полка угольника должна быть длиной 50 *мм* при толщине материала 4 *мм*, то при нанесении внутренней линии перегиба надо вычесть половину толщины — 2 *мм* (а не всю толщину 4 *мм*), т. е. длину принять равной 48 *мм*.

Изгибание в тисках производят равномерными ударами молотка (фиг. 6-24,*б*). Чтобы не повредить изгибу, риска на листах должна быть неглубокой. Заготовки большого сечения отжигаются перед изгибанием, чтобы не появились в них трещины. Мягкие материалы надо обрабатывать деревянным или резиновым молотком, зажимая материал в тисках со вставными губками. Удары молотком наносят через прокладку (стальную плитку). Начинают изгибание осторожными ударами молотка по всей выступающей из тисков поверхности, начиная с края. Затем переносят удары молотка непосредственно на кромку образующегося угла, чтобы он получился острым.

Если профиль изделия таков, что для изгибания нельзя непосредственно зажать его в тисках, то применяют вспомогательные колодки. Например, чтобы выгнуть полосу по кругу, применяют деревянную колодку соответственного диаметра (фиг. 6-24,*в*). Для начала образуют полукруг, который постепенно, несколько раз переставив лист в тисках, превращают в полный круг.

Изгибание больших листов (фиг. 6-24,*г*) осуществляется следующим образом. Загибаемый лист закладывается между двумя жесткими полосами или угольниками и вместе с ними зажимается в тиски. Свободные концы полос стягиваются ручными тисочками. Изгибая лист, нельзя наносить удары непосредственно по листу; надо в качестве прокладки применить стальную плиту или полосу с гладкой поверхностью. Зажимное приспособление для листа ни в коем случае не должно быть короче линии перегиба.

8. ПАЯНИЕ

Различают паяние мягким и твердым припоем. Последний вид паяния в практике радиомастера употребляется редко. В качестве твердых припоев применяют медь, латунь, серебро и сплавы серебра с медью и цинком с применением буры в качестве флюса.

Радиомастеру совершенно необходимо владеть паянием мягким припоем. Тут связующим средством между металлами служит тот или иной мягкий припой, плавящийся при сравнительно низкой температуре. Мягкий припой представляет обычно сплав олова со свинцом, с содержанием олова до 60%. Содержание олова в припое можно установить по характерному хрусту, который издает припой при сгибании его. Хруст тем сильнее, чем больше процент содержания олова. В табл. 6-3 приведены данные о мягких припоях.

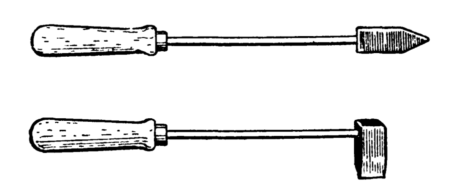
Место спая и припой разогревают медным паяльником. Паяльники бывают различной величины и выбираются в зависимости от величины спаиваемых предметов. Наиболее распространены молотковые паяльники (фиг. 6-25), разогреваемые на огне, и электрические паяльники, разогреваемые электрическим на-

Таблица 6-3

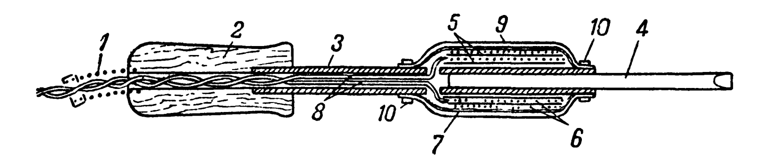
Мягкие оловянные припои

Состав, части		Температура плавления, °С	Для паяния
олово	свинец		
1	2—3	257—260	Меди, цинка
2	3	232	Цинка, свинца
3	2	200	Жести, олова
2	1	183	Монтажных проводов

гревательным элементом (фиг. 6-26). Из электрических паяльников особенно удобны низковольтные (на 6—18 *в*), которые долговечнее и безопаснее в работе.



Фиг. 6-25. Молотковые паяльники.



Фиг. 6-26. Электрический паяльник.

1 — пружина; *2* — ручка; *3* — трубка; *4* — медный стержень; *5* — слюда; *6* — нагревательная обмотка в один-два слоя; *7* — обмотка из асбестового картона или шнура; *8* — провода, обмотанные асбестовым шнуром; *9* — кожух; *10* — кольца.

При паянии мягким припоем необходимо места спайки предварительно тщательно зачистить ножом, шабером, напильником или наждачной бумагой; провода с эмалевой изоляцией в местах, подлежащих пайке, сначала обжигаются, а затем погружаются в спирт. Но этого еще недостаточно, так как нагрев металлов вызывает их окисление, препятствующее паянию. Чтобы уменьшить его или вызвать раскисление, применяют так называемые флюсы (плавни), которые наносят на место пайки вместе с припоем. Одним из таких флюсов является «паяльная вода» (травленная цинком соляная кислота). Однако в электротехническом аппаратостроении трудно производить последующую очистку таких спаев, а остатки кислот вызывают протраву и ржавление, нарушающие электрический контакт в месте спайки. Поэтому необходимо применять флюсы, не содержащие кислот. Большинство паяльных жиров (например, стеарин) тоже не всегда совершенно свободны от кислот.

В радиомонтаже наиболее распространенным флюсом является канифоль. Наряду с твердой канифолью удобно применение канифольного лака (раствор одной части измельченной в порошок канифоли в двух частях спирта), который наносят на место паяния кисточкой. Часто, особенно при изготовлении радиоприборов, применяют тонкие оловянные трубки, наполненные канифолевым флюсом. Конец такой трубки упирается в место спайки и расплавляется паяльником. Спайка получается прочной и чистой.

Выбор паяльника определяется характером предстоящей работы. Для больших поверхностей надо применять тяжелые паяльники с широкими наконечниками. Для паяния соединительных проводов применяют небольшие паяльники с узкими наконечниками. Длинные и, если нужно, изогнутые наконечники не только делают более доступными для паяльника места спайки, но и равномернее разогревают поверхность паяния.

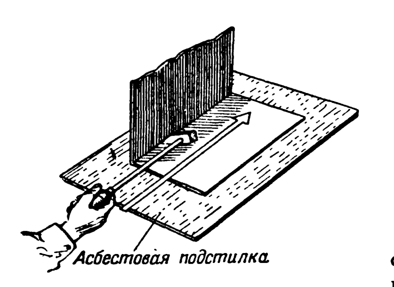
Нужно постоянно поддерживать наконечник паяльника в чистом состоянии и через определенные промежутки времени опиливать его или обрабатывать проволочной щеткой и сейчас же после этого наново лудить. Если электрический паяльник имеет сменный наконечник и работает непрерывно, то по меньшей мере через каждые двое суток такой паяльник нужно чистить, чтобы вставной его наконечник не заедал в патроне. При этом необходимо конец, входящий в патрон, вычистить стальной щеткой.

Молотковые паяльники, разогреваемые газовой горелкой или на жаровне, нельзя доводить до температуры выше 600° С; паять раскаленными паяльниками ни в коем случае нельзя. Кроме того, всякий раз перед паянием надо их чистить на нашатырном камне и затем лудить.

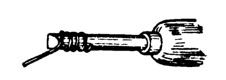
Для аккуратной пайки необходимо, чтобы место спая не подвергалось излишне долгому прогреву, так как при этом припой ложится неровным слоем. Чистая пайка требует известного навыка, приобретаемого только опытным путем. Длинные швы следует паять в один проход. Чтобы при тонкостенных изделиях и листах затруднить отвод тепла, рекомендуется применять подкладки из дерева или асбеста (фиг. 6-27) и, если это возможно, предварительно подогревать спаиваемые части.

Тонкие провода, диаметром до 0,1 *мм*, удобно паять специальными малыми паяльниками или надев на обычный паяльник дополнитель-

ный стерженек (фиг. 6-28). Применяют также сваривание их в пламени спиртовки или спички после того, как концы соединяемых проводов без зачистки скручены, но тогда следует после сваривания проверить омметром надежность контакта места спаивания.

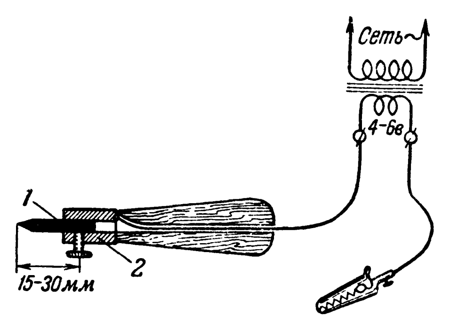


Фиг. 6-27. Пайка длинных швов.



Фиг. 6-28. Насадка на паяльнике из медного стерженька длиной 15 — 20 *мм*.

Простой сварочной аппарат с питанием переменным током для радиомонтажа представлен на фиг. 6-29. Сваривание позволяет получить прочное соединение немедных проводников (в проволочных сопротивлениях, паяльниках и пр.), что бывает трудно осуществить паянием мягкими припоями.



Фиг. 6-29. Сварочный аппарат для сварки проводов.

1 — угольный стержень диаметром 4 — 6 *мм*; *2* — держатель из латуни.

* * *

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

РАДИОМЕХАНИКА

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЕМНИКОВ

Изложению вопросов установки, ремонта и испытания радиоприемной аппаратуры мы предпошлем классификацию радиоприемников, ибо зачастую радиомастер приглашается потребителями радиоаппаратуры для консультации при покупке приемника и в этом случае он, учтя запросы и возможности потребителя, а также особенности местных условий, должен суметь дать ему правильный совет при выборе типа радиоприемника.

Простейшими радиоприемниками являются *детекторные*. Они пригодны в основном для приема на телефонные трубки мощных радиостанций на сравнительно близком расстоянии. В настоящее время детекторные приемники в городах утратили свое значение. Однако для неэлектрифицированных районов сельской местности детекторный приемник представляет еще значительный интерес, поскольку эксплуатация его не связана с расходами на приобретение батарей. По своим возможностям и качеству работы все детекторные приемники весьма сходны между собой.

Ламповые приемники в зависимости от схемы и конструкции сильно различаются по своим свойствам. По способу питания они разделяются на две категории: сетевые, предназначенные для установки в электрифицированной местности, и батарейные — для неэлектрифицированной местности. По возможностям приема того или иного числа станций ламповые приемники можно разделить также на две группы: для местного и для дальнего приема. Типичным приемником для приема местных станций является одноконтурный приемник прямого усиления, состоящий из регенеративного детектора и одного-двух каскадов усиления низкой частоты. При наличии регулируемой обратной связи им иногда можно принимать и дальние достаточно мощные станции. Но рекомендовать его можно лишь для приема местных и ближайших иногородних станций, ибо дальние станции слышны на него нерегулярно. Лучше работают двухконтурные приемники прямого усиления, у которых несколько выше избирательность.

В настоящее время преобладающее распространение получили супергетеродинные приемники. По чувствительности, качеству звучания и конструктивному оформлению супергетеродины делятся на четыре класса (ГОСТ 5651-51). Классификация приемников приведена в табл. 7-1.

Супергетеродины 4-го класса. Это — деше-

Таблица 7-1

Классификация радиовещательных приемников (согласно ГОСТ 5651-51)

Важнейшие параметры	Приемники 1-го класса сетевые	Приемники 2-го класса		Приемники 3-го класса		Приемники 4-го класса	
		сетевые	батарейные	сетевые	батарейные	сетевые	батарейные
Номинальная выходная мощность, *вт*	4	1,5	0,15	0,5	Оговаривается в технических условиях на приемник		
Потребление электроэнергии при номинальных напряжениях источников питания (не более), *вт*	Определяется числом и типом ламп		Полная мощность 1,9	Определяется числом и типом ламп	Полная мощность 1,3	Определяется числом и типом ламп	Полная мощность 0,8
Диапазоны принимаемых волн (не уже): ДВ, *кгц* СВ, *кгц* КВ, *мггц*	Оговариваются особо	150—415 520—1 600 3,95—12,1	150—415 520—1 600 3,95—12,1	150—415 520—1 600 Допускается 3,95—12,1	150—415 520—1 600 —	150—415 520—1 600 —	150—415 520—1 600 —
	На диапазоне КВ необходимо наличие полурастянутых или растянутых диапазонов					Допускается вместо плавной настройки несколько фиксированных в пределах ДВ и СВ	
Промежуточная частота, *кгц*	465±2	465±2	465±2 или 110—115	465±2 или 110—115	465±2 или 110—115	465±2 или 110—115	465±2 или 110—115
Чувствительность при 0,1 номинальной мощности (не хуже), *мкв*: на ДВ на СВ на КВ	50 50 50	200 200 300	200 200 300	300 300 500	400 400 —	Оговаривается в технических условиях на приемник	
Избирательность (ослабление при расстройке на 10 *кгц*) не хуже, *дб*	46	26	26	20	20	Оговаривается в технических условиях на приемник	
Ослабление зеркального канала не менее, *дб*: на ДВ на СВ на КВ	60 50 25	36 30 12	36 30 12	26 20 —	26 20 —	— — —	— — —
Ослабление сигнала частоты равной промежуточной (не менее), *дб*	40	34	34	20	20	—	—
Действие системы АРУ: изменение напряжения на входе приемника, *дб* соответствующее изменение напряжения на выходе приемника, *дб*	60 12	26 8	26 8	26 10	26 10	— —	— —
Кривая верности (по звуковому давлению) при неравномерности 14 *дб* на всех частотах и 18 *дб*—на частотах ниже 250 *кгц* (в настольном оформлении) не уже, *гц*	60—6 500	100—4 000	100—4 000	150—3 500	150—3 500	200—3 000	200—3 000
Коэффициент нелинейных искажений всего тракта усиления приемника по звуковому давлению при номинальной мощности и глубине модуляции 30% на частотах: от 200 до 400 *гц*, не более % свыше 400 *гц*, не более %	7 5	7 7	7 7	12 10	12 10	12 10	Оговаривается в технических условиях на приемник
Наличие индикатора настройки	Есть	Есть	Нет	Не обязателен	Нет	Нет	Нет
Наличие переменной полосы пропускания по промежуточной частоте	Есть	Не обязательно		Нет	Нет	Нет	Нет
Возможность включения дополнительного громкоговорителя	Есть	Есть	Есть	Не обязательна		Нет	Нет
Рекомендуемое число ламп, не более	Не ограничивается	7	7	5	5	4	4

Примечание: Во всех батарейных приемниках должна быть предусмотрена возможность включения их громкоговорителя в трансляционную сеть.

вые массовые приемники, заменившие собой двухконтурные приемники прямого усиления. Они оформляются в виде небольших настольных моделей весом 4—7 *кг*, не имеют коротковолнового диапазона и в электрической схеме содержат ряд упрощений. Вследствие малых размеров ящика эти приемники не обеспечивают вполне высококачественного звучания. Представителями этой группы являются приемники АРЗ, «Москвич» и др.

Супергетеродины 3-го класса (обычно с коротковолновым диапазоном). Они состоят из следующих типовых каскадов: преобразователя частоты на одной лампе, одного каскада усиления промежуточной частоты, диодного детектора и двух каскадов усиления низкой частоты. Обычно они имеют один настраивающийся контур на входе и два фильтра промежуточной частоты. Общее число ламп — не более пяти. В целях удешевления эти приемники часто имеют упрощенную схему силовой части без трансформатора и не снабжаются оптическим индикатором настройки. Их электрические характеристики лишь немногим хуже, чем у среднего супергетеродина второго класса. Собираются они в простых ящиках, иногда стальных штампованных. Несколько большие, чем у предыдущей группы, размеры ящика улучшают качество воспроизведения. Эта группа приемников может быть отнесена к разряду приемников дальнего приема. Типичные представители их: «Рекорд», «Москвич-3», «Рига Т-755».

Супергетеродины 2-го класса — наиболее распространенная группа современных радиоприемников («Балтика», «Рига-6», «Родина-52» и др.). Они обычно имеют на входе также один настраивающийся контур. Для приема коротких волн устраиваются иногда растянутые или полурастянутые поддиапазоны. Приемники часто снабжаются оптическим индикатором настройки и регулятором тембра. Число ламп может доходить до семи. Хороший динамический громкоговоритель и значительного объема настольный ящик у этих приемников обеспечивают хорошее воспроизведение звука. Некоторые модели этих приемников снабжаются проигрывателем граммофонных пластинок и выпускаются в виде радиол настольного типа.

Супергетеродины 1-го класса заключают не менее девяти-десяти ламп, снабжаются растянутыми коротковолновыми диапазонами, имеют один-два каскада усиления высокой частоты, мощный усилитель низкой частоты и высококачественный динамический громкоговоритель (иногда два громкоговорителя). Кроме того, часто вводятся в их схему специальные усовершенствования (кнопочная настройка, усиленная АРУ, переменная полоса пропускания, устройства для снижения помех и т. п.). Выпускаются как отдельные приемники, так и радиолы, в том числе консольного типа. Представителями супергетеродинов 1-го класса являются «Мир», «Латвия», «Беларусь» и др.

Особое положение занимают а в т о м о б и л ь н ы е приемники и п е р е д в и ж к и. И те и другие строятся исключительно по супергетеродинной схеме. Первые приспособлены к питанию от стартерного автомобильного аккумулятора и имеют конструкцию, специально предназначенную для установки в автомашине. Иногда автомобильные приемники снабжаются системой дистанционного управления, осуществляемой посредством гибких валов, так как на панели управления автомобиля часто не хватает места для установки самого приемника. Приемники-передвижки работают на экономичных батарейных лампах, причем батареи укладываются в ящик приемника. Наиболее интересны приемники этого типа, сконструированные на пальчиковых лампах, например «Дорожный».

2. УСТАНОВКА РАДИОПРИЕМНИКА

Элементами установки приемника являются монтаж антенны и заземляющего устройства, а также, если требуется, проводка линии для присоединения второго громкоговорителя в другом помещении, причем не исключена возможность устройства дистанционного включения приемника.

Сооружение антенн. Каждый приемник, за исключением приемников, снабженных рамкой, нуждается в антенне, конструкция которой зависит от предъявляемых к установке требований и местных условий. Уровень сигнала в приемной антенне возрастает с ее высотой; отношение полезного сигнала к помехе обычно тоже тем больше, чем выше антенна. Поэтому в большинстве случаев целесообразна наружная высокая антенна.

При выборе типа антенны можно руководствоваться следующими практическими положениями:

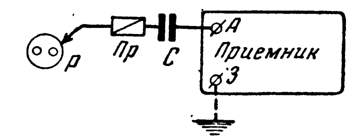
1. Применение комнатных и суррогатных антенн для приемников прямого усиления и супергетеродинов 4-го класса практически исключает возможность удовлетворительного приема дальних станций и для этих типов приемников желательна установка наружной антенны.

2. Супергетеродины 2-го и 1-го класса на комнатную антенну принимают почти так же, как и на обычную наружную, но в районах с сильными индустриальными помехами прием

на наружную антенну может быть значительно лучше.

3. Наружную антенну имеет смысл устанавливать лишь тогда, когда она может быть расположена значительно выше приемника. Наружные антенны, находящиеся на одном уровне с приемником, например балконные, действуют не лучше, чем комнатные, натянутые на той же высоте. Исключение из этого правила составляют лишь железобетонные здания, внутри которых комнатные антенны дают исключительно плохой прием.

4. Суррогатные антенны зачастую дают лучший прием, чем простая комнатная, так как



Фиг. 7-1. Суррогатная антенна (электросеть).

Р — штепсельная розетка; *Пр* — плавкий предохранитель; *С* — защитный конденсатор (400 *пф*); *А* — гнездо антенны; *З* — гнездо заземляющего провода.

превосходят ее по протяженности, а часто и по высоте. В городских условиях суррогатные антенны обычно воспринимают помех больше, чем какие-либо другие.

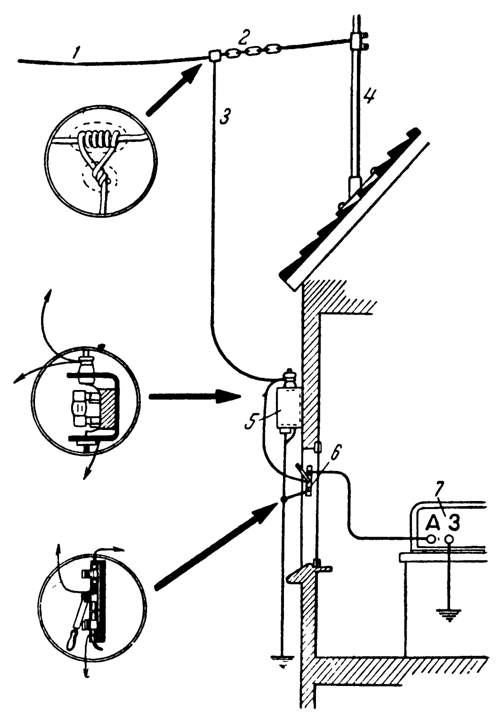
5. В районе с особенно высоким уровнем помех целесообразно устройство высоких наружных антенн с экранированным снижением.

Комнатные антенны. Формы выполнения комнатных антенн мало влияют на эффективность их действия, но желательно устраивать их из изолированного провода.

Суррогатная антенна. В качестве ее могут быть использованы провода электрической (осветительной) сети. Такую антенну следует подключать к приемнику через защитный конденсатор и предохранитель (фиг. 7-1), которые рекомендуется вместе с зажимом монтировать на стене.

Наружные антенны состоят из мачт, оттяжек, самой антенны, снижения, ввода, заземления, грозопереключателя и устройства для защиты от перенапряжений. Сооружения наружных антенн подчинены определенным правилам. Из числа их упомянем следующие: 1) в качестве предельных размеров для наружных антенн в городских местностях установлены высота мачты 8 и пролет 50 *м*; 2) для крепления мачт и оттяжек запрещено использование печных труб, перил и арматуры электрических и телефонных линий; 3) без особого разрешения нельзя также натягивать антенны над улицами и площадями, над надземными и водными путями; 4) не разрешается располагать антенну над воздушными электрическими линиями и линиями связи.

Наружная антенна должна быть снабжена заземляющими переключателем с предохранителем от перенапряжений, который желательно располагать снаружи дома, по возможности ближе к вводу, чтобы им можно было легко пользоваться. В качестве последнего применяются искровой разрядник с воздушным промежутком в 0,1 *мм*, вакуумный разрядник или



Фиг. 7-2. Наружная Г-образная антенна.

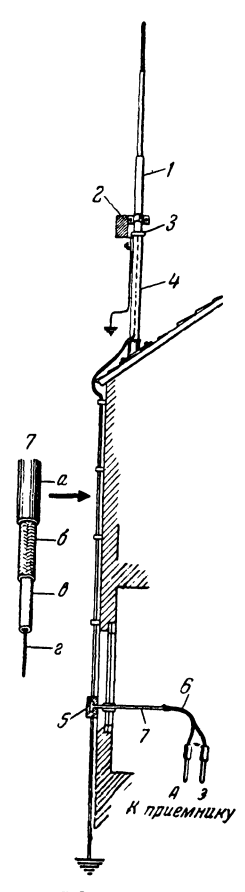
1 — горизонтальная часть антенны; 2 — изоляторы; *3* — снижение; *4* — мачта; *5* — грозоразрядник; *6* — грозопереключатель; *7* — радиоприемник.

газоразрядная трубка. Их нельзя монтировать вблизи легко воспламеняющихся материалов. Для заземления антенны рекомендуется применять отдельное заземление, не соединенное с приемником.

Детали устройства наружной антенны показаны на фиг. 7-2. Наивыгоднейшая длина $l_{гор}$ горизонтальной части наружных и внутренних антенн составляет при одном луче 15—20 *м*, а при двух лучах — вдвое меньше. Двухлучевые антенны хуже однолучевых, поэтому их следует устраивать только в тех случаях, когда антенна не может быть сделана длиннее 12—15 *м*.

К горизонтальной части антенны часто добавляется снижение длиной $l_{сн}$, причем если собственная длина волны антенны $\lambda_0 \approx$

$\approx 4{,}5\ (l_{гор} + l_{сн})$ оказывается слишком большой ($\lambda_0 \geqslant 200$ *м*), то ее искусственно укорачивают включением последовательно со снижением конденсатора емкостью 100—500 *пф* (подбирается опытным путем). Слишком короткая антенна ($\lambda_0 \ll 100$ *м*) может также плохо влиять на прием, в особенности при приеме длинных волн; в этом случае вводят в снижение катушку индуктивности, величину которой определяют тоже из опыта. Эти мероприятия оказываются особо полезными при неблагоприятных условиях приема.



Фиг. 7-3. Экранированная наружная антенна.

1 — стержневая антенна; 2 — коробка с газоразрядником; 3—изолятор (фарфоровая втулка); 4 — опорная мачта (стальная труба); 5 — экранированный грозопереключатель (выключатель на 250 *в* и 6 *а* в металлической коробке); 6 — экранированный шланг; 7 — высокочастотный кабель (*а* — изоляция из хлорвинила или лакоткани; *б* — металлическая оплетка; *в* — высокочастотная изоляция; *г* — медная жила).

Экранированная наружная антенна (фиг. 7-3) предназначается для повышения отношения сигнала к помехе. Сооружение ее рекомендуется там, где в непосредственной близости к месту приема находятся источники сильных электрических помех, например в больших городах, имеющих множество электроустановок, электрический транспорт и т. п.

Наиболее подходящим видом такой антенны является высоко поднятая над крышей стержневая антенна, которая может состоять из раздвижных труб (телескопическая антенна). В качестве мачты, на которой должна крепиться антенна, желательно применить заземленную металлическую трубу, а снижение, начиная от основания стержня, прокладывать экранированным проводом, который подводится к грозовому переключателю, устанавливаемому снаружи дома у места ввода в помещение. Грозопереключатель желательно тоже экранировать, поместив его в заземленную металлическую коробку. Ввод осуществляется также экранированным шлангом и оканчивается у приемника гибким экранированным шнуром.

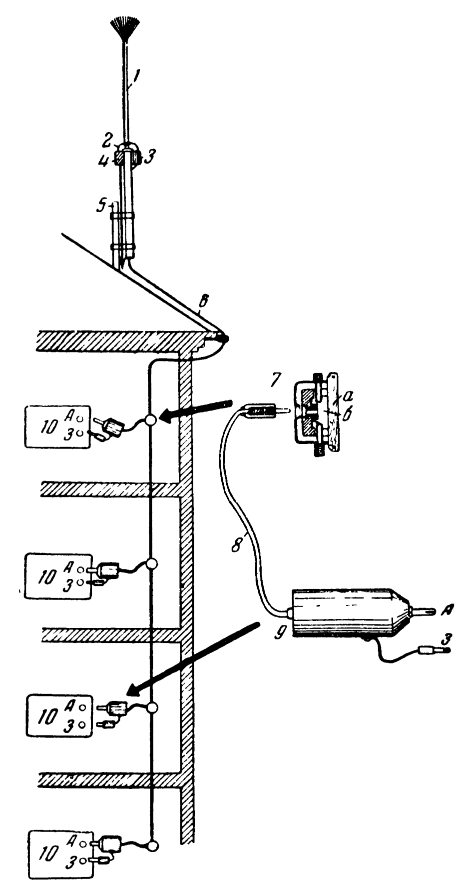
Собственная емкость экранированного или бронированного снижения значительно ослабляет действие антенны (увеличивает затухание), так как емкость снижения (которая включена параллельно емкости антенны) велика, а собственная емкость антенны по сравнению с ней невелика. Поэтому к выбору провода для снижения надо относиться очень внимательно: чем меньше диаметр брони или экрана относительно диаметра токопроводящей жилы, тем больше емкость снижения. Обычные экранированные провода обладают емкостью от 20 до 50 *пф* на 1 *м* длины. Специальные высокочастотные шланги (коаксиальные кабели) выполняются с воздушной изоляцией между жилой и экраном, а поддерживающие жилу в экране изоляторы делают из диэлектрика с малой диэлектрической проницаемостью или применяют сплошную изоляцию из специального высокочастотного диэлектрика. Такие кабели обладают емкостью в 5—10 *пф* на 1 *м* длины.

Выгодно применить обычный бронированный провод, но в этом случае надо установить в начале и конце снижения специальные высокочастотные трансформаторы, преобразующие сопротивление антенны (фиг. 7-4). У начала снижения (в конце антенны) включается трансформатор, понижающий сопротивление антенны до величины, при которой емкость снижения уже не вызывает заметного увеличения затухания. Возле приемника в антенную линию включается повышающий трансформатор, возвращающий сопротивление к прежней величине. Конструкция, электрическая схема и моточные данные антенных трансформаторов приведены на фиг. 7-5. Подобные антенны позволяют одновременно обслуживать до пяти приемников и этим в значительной мере решают проблему упорядочения антенного хозяйства в больших городах.

Центральная домовая антенна (фиг. 7-6). Она полностью решает проблему упорядочения антенного хозяйства в больших городах. Сама антенна устраивается по типу описанной выше стержневой, но снижение от нее направляется непосредственно на чердак к широкополосному усилителю высокой частоты (фиг. 7-7), который работает непрерывно и подает усиленные сигналы по бронированным кабелям ко всем радиоприемникам в доме. В зависимости от свойства усилителя число приемников, обслуживаемых такой антенной, может доходить до ста.

Так как при общей антенне трудно пользоваться грозовым переключателем, то в месте ввода антенны на чердак на крыше устанавливается лишь предохранитель от перенапря-

жений. Заземляющий провод сечением не менее 3 *мм*² подводится к земле или к линии громоотвода. Усилитель может быть снабжен фильтрами, снижающими уровень сигнала местных станций, и устройством автоматического резервирования ламп. Он полностью

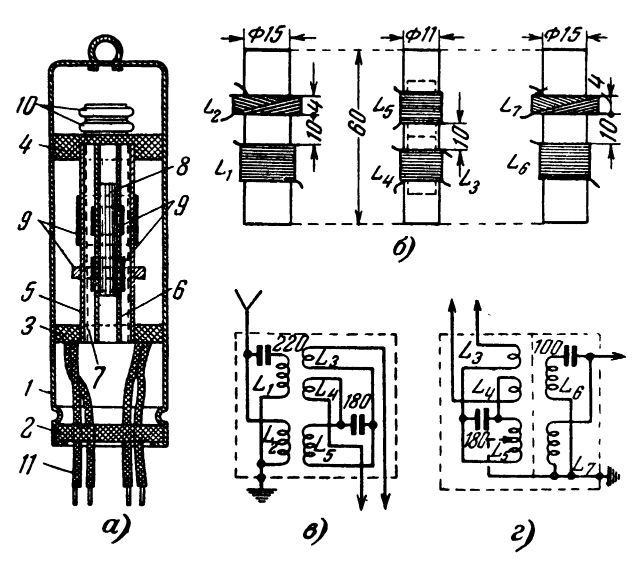


Фиг. 7-4. Общая антенна для нескольких радиоприемников.

1 — стержневая антенна с метелкой на конце; *2* — фарфоровая втулка; *3* — понижающий трансформатор; *4* — грозоразрядник; *5* — опорная мачта; *6* — экранированный кабель; *7* — экранированное штепсельное соединение (*а* —подрозетник, *б*—розетка с гнездом); *8* — экранированный шланг; *9* — повышающий трансформатор; *10* — приемник.

экранируется заземленным металлическим кожухом. Питание усилителя осуществляется от городской электросети; при вводе ее в кожух усилителя ставится высокочастотный фильтр, предотвращающий проникновение помех в антенную сеть. На выходе усилителя включается трансформатор $Тр_2$, согласующий его выходное сопротивление с волновым сопротивлением распределительной сети.

Распределительная сеть выполняется в виде петли (см. фиг. 7-6) из экранированного высокочастотного кабеля, волновое сопротивление которого около 100 *ом*. На расстоянии не менее 1 *м* за последней штепсельной розеткой, предназначенной для включения приемника, линия нагружается сопротивлением, равным волновому сопротивлению сети, т. е. около 100 *ом*. Штепсельные розетки содержат (помимо гнезд) два сопротивления, образующих



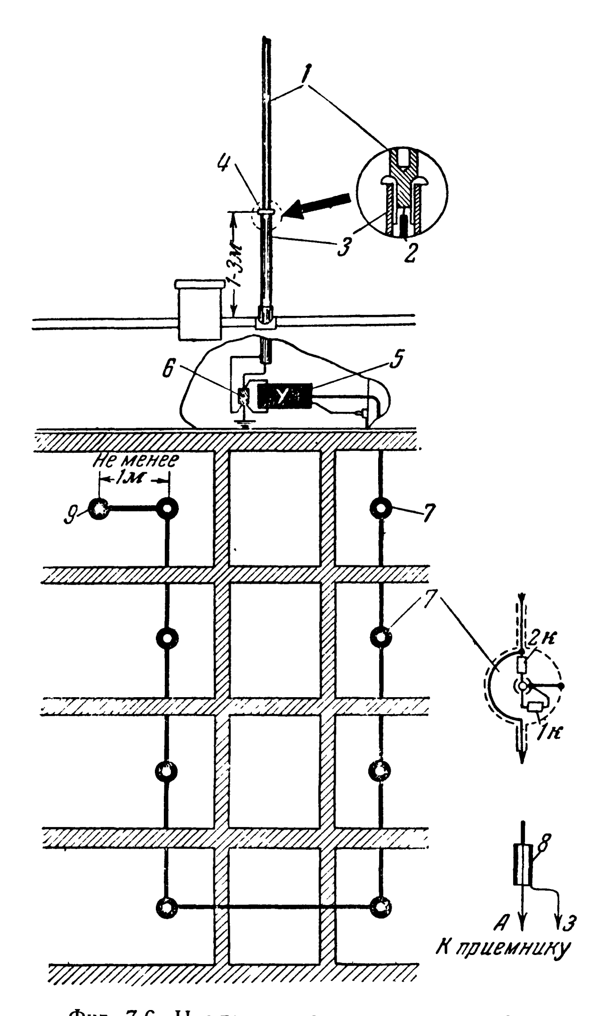
Фиг. 7-5. Антенные трансформаторы.

а — конструкция трансформаторов;
1 — алюминиевый корпус; *2* — донышко (резина); *3* и *4* — центрирующие кольца (гетинакс, текстолит); *5* — внешняя гильза; *6* — внутренняя гильза; *7* — электростатический экран (ряд параллельных проводов ПШО 0,2, наклеенных на бумажную трубку вплотную друг к другу; с одной стороны все они спаяны, а с другой — изолированы друг от друга; экран соединен с корпусом и заземлен; устраивается только в повышающем трансформаторе); *8* — сердечники из карбонильного железа диаметром 9,3 и длиной 19 *мм*; *9* — катушки; *10* — конденсаторы; *11* — выводы.
б — катушки трансформаторов;
L_1 — 10 витков ПШО 0,13; L_2 — 200 витков ПШО 0,13; L_3 — 10 витков ПЭШО 0,13; L_4 —10 витков ПЭШО 0,13; L_5 — 100 витков ПЭШО 0,13; L_6 — 16 витков ПЭШО 0,13; L_7 — 150 витков ПЭШО 0,13.
в — схема понижающего трансформатора; *г* — схема повышающего трансформатора.

делитель, цель которых—предотвратить взаимное влияние включенных в антенну приемников. Эти сопротивления берут порядка 2 000 *ом* последовательно и 1 000 *ом* параллельно гнездам.

Применение заземления. Отдельное заземление необходимо при наружных антеннах для присоединения к нему грозопереключателя и предохранителя от перенапряжений. Заземляющий провод должен быть сечением не менее 3 *мм*², и его надо надежно припаять к массивному металлическому предмету (оцинкованный лист, бухта стальной ленты или провода), зарытому в землю на глубине грунтовых вод недалеко от места ввода снижения в здание.

Для самих радиоприемников не всегда необходимо заземление: многие достаточно чувствительные супергетеродины работают без



Фиг. 7-6. Центральная домовая антенна.

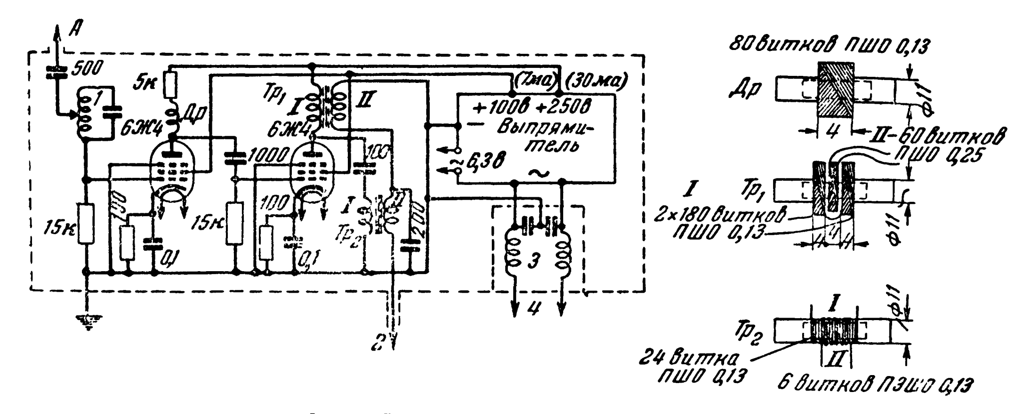
1 — стержневая антенна; *2* — снижение; *3*—опорная мачта (труба) *4* — фарфоровая втулка; *5* — широкополосный усилитель; *6* — грозоразрядник; *7* — экранированные розетки с ограничительными сопротивлениями в 1 и 2 *ком*; *8* — штепсельная вилка; *9*—коробка с нагрузочным сопротивлением 100 *ом*.

заземления не хуже, чем с заземлением. Это объясняется тем, что масса экранов, проводов и шасси, подлежащих заземлению, достаточно велика и сама выполняет роль заземления. В сетевых приемниках, кроме того, емкость между обмотками силового трансформатора связывает по высокой частоте приемник с электросетью, которая всегда бывает заземлена.

Иногда достаточно бывает устройство «искусственной земли»: включение вместо заземления одного из проводов электрической сети через конденсатор емкостью 0,01—0,02 *мкф* (конечно, при условии, что электросеть не используется в качестве суррогатной антенны для этого же приемника). В большинстве случаев в качестве заземления вполне удовлетворительно работают трубы водопровода, если провод заземления надежно соединен с ними (пайкой, хомутиком и т. д.). Хорошее настоящее заземление необходимо лишь для детекторных приемников и простейших ламповых, если желательно обеспечить прием удаленных радиостанций.

Установка дополнительного громкоговорителя. Многие радиоприемники снабжаются гнездами для присоединения дополнительного громкоговорителя. Прежде чем приступать к установке его, надо ознакомиться со схемой выхода приемника и определить, низкоомный он или высокоомный, и в соответствии с этим решить вопрос о необходимости применения у дополнительного громкоговорителя выходного трансформатора.

Если нужная линия окажется низкоомной, то ее следует выполнять для избежания потери мощности (в особенности при большой ее протяженности) достаточно толстым проводом. Высокоомную линию, даже относительно длинную, можно прокладывать тонким проводом,

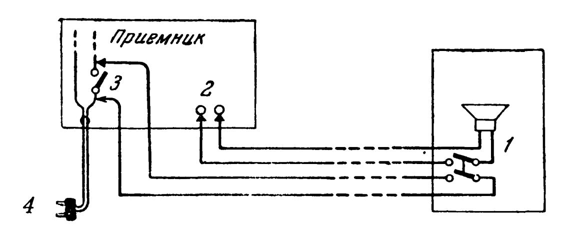


Фиг. 7-7. Широкополосный усилитель.

1 — фильтр, ослабляющий уровень сигналов местной станции; *2* — к распределительной сети; *3* — высокочастотный фильтр; *4* — к электросети. У дросселя *Др* и трансформаторов $Тр_1$ и $Гр_2$ сердечники из карбонильного железа диаметром 9,3 и длиной 19 *мм*.

для чего применяют сдвоенный звонковый провод в полихлорвиниловой изоляции.

Дистанционное включение приемника с места установки дополнительного громкоговорителя может быть осуществлено различными способами, в том числе с использованием для него проводов той же линии, по которой подается напряжение низкой частоты к громкоговорителю. Но поскольку расстояние до приемника обычно невелико, то экономичней проложить отдельную линию. Проще всего вывести контакты имеющегося в приемнике выключателя и параллельно им присоединить второй выключатель, установленный при дополнительном громкоговорителе (фиг. 7-8).



Фиг. 7-8. Схема включения дополнительного громкоговорителя с дистанционным включением приемника.

1 — дополнительный громкоговоритель; *2* — гнезда дополнительного громкоговорителя; *3* — выключатель; *4* — к электросети.

3. УСИЛИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Выбор мощности усилительной установки. Выходная мощность усилительного устройства должна на 15—20% превышать сумму мощностей, необходимых для озвучания подлежащих радиофикации помещений. Мощность для озвучания больших помещений может быть определена с помощью табл. 7-2, где указаны коэффициенты мощности K на одного слушателя для разного рода передач и помещений.

Таблица 7-2

Коэффициент мощности на одного слушателя

Озвучаемый объект	Род передачи	K
Залы с большой реверберацией	Речь Музыка Танцевальная музыка	0,005 0,01 0,02
Залы со средним звукопоглощением	Речь Музыка Танцевальная музыка	0,01 0,015 0,025
Залы с сильным звукопоглощением	Речь Музыка Танцевальная музыка	0,01 0,(2 0,03
На открытом воздухе	—	0,025

Необходимая для всего помещения мощность получается как произведение найденного в таблице коэффициента на число слушателей. При выборе коэффициента K надо правильно оценить акустические свойства помещения, отнеся его к разряду залов или со значительной реверберацией, или с сильным звукопоглощением. Большой реверберацией (гулкостью) обладают помещения с гладкими кирпичными и бетонными стенами. Наоборот, помещения с обтянутыми материей стенами, коврами, обилием мягкой мебели обладают сильным звукопоглощением.

Пример. Определить необходимую мощность громкоговорителей для передачи танцевальной музыки в зале с мраморными стенами при числе посетителей 1 000 человек.

По табл. 7-2 для этих условий находим $K = 0{,}025$. Тогда мощность всех громкоговорителей будет равна $0{,}025 \cdot 1\,000 = 25$ *вт.*

Комплектация усилительной установки. Все оборудование усилительной установки подразделяется на источники программы (микрофон, приемник, граммофонный пульт и т. п.), усилительные устройства, приборы управления и контроля и питающее устройство.

Комплект источников программы составляется в соответствии с необходимыми видами работы проектируемого радиоузла. В состав радиоузлов на различных предприятиях и в клубах обычно входят микрофон, граммофонный проигрыватель и радиоприемник. На более мощных узлах устанавливаются магнитофоны и посты для воспроизведения тонфильмов. Для беспрерывной передачи граммзаписи устанавливается два граммофонных пульта. В граммофонном пульте желательно применять электродвигатель мощностью 60—100 *вт* с массивным диском большого диаметра.

Усилители на радиоузлах бывают трех типов: 1) о к о н е ч н ы е, 2) п р е д в а р и т е л ь н ы е, функции которых в малых узлах может выполнять низкочастотная часть радиоприемника, и 3) м и к р о ф о н н ы е.

Оконечный усилитель, питающий громкоговорители, обычно выполняется по двухтактной схеме класса AB_1, AB_2 или даже B. Этим повышается экономичность эксплуатации радиоузла, что особенно важно при применении аккумуляторного питания. Оконечный усилитель в большинстве случаев монтируется на отдельном шасси, которое, впрочем, часто укрепляется в одном кожухе или на стойке с прочими элементами радиоузла. Ко входу оконечного усилителя присоединяется выход предварительного.

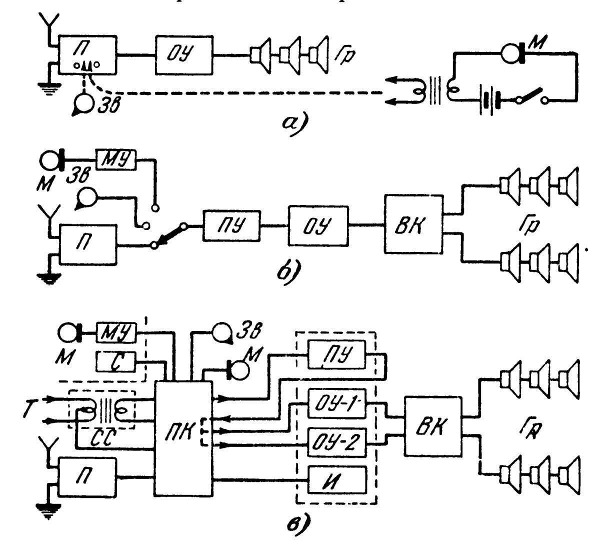
Предварительный усилитель обладает значительным коэффициентом усиления по напря-

жению и приводит в действие оконечный усилитель. Обычно он содержит три-четыре лампы, из которых предоконечная работает на трансформатор, а остальные — в схеме на сопротивлениях. Ко входу предварительного усилителя подается от источников программ напряжение порядка десятых или сотых долей вольта. При этом звукосниматель граммофонного пульта или пьезоэлектрический микрофон присоединяются ко входу предварительного усилителя непосредственно, а другие микрофоны — через трансформаторы или дополнительные микрофонные усилители. Так как выходное напряжение приемника велико, то выход его ко входу предварительного усилителя надо подавать через понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации порядка 60 : 1 или через делитель напряжения на сопротивлениях.

Приборы управления — переключатели источников программы, выключатели громкоговорителей, регуляторы уровня (громкости) и полосы (тембра) и др., а равно и контрольно-измерительные приборы большей частью размещаются на панелях соответствующих блоков усилительной установки. Однако в больших установках наиболее важные органы управления вместе с прибором контроля уровня передачи собираются на отдельной панели управления, устанавливаемой на столе дежурного техника. На этом же столе устанавливаются микрофон, радиоприемник и граммофонный пульт. Выключатели линий, идущих к громкоговорителям, сосредоточиваются на панели выходной коммутации. Если эти линии проходят на открытом воздухе, то необходима установка грозозащитных устройств (плавкий предохранитель и разрядник на каждый провод).

При питании радиоузлов от сети переменного тока питающее устройство состоит из трансформаторов и выпрямителей. В этом случае рациональна установка автотрансформатора для поддержания питающего напряжения нормальной величины. Реже радиоузлы снабжаются бензиновыми или иными двигателями, вращающими непосредственно питающий аппаратуру генератор. Если радиоузел питается от аккумуляторов, то для зарядки резервного комплекта аккумуляторов устанавливаются двигатели внутреннего сгорания и ветродвигатели; тогда в оборудование радиоузла включается разрядно-зарядный щиток.

В качестве иллюстрации к вопросу о комплектации радиоузлов на фиг. 7-9 приведены три типовые блок-схемы усилительных установок. Простейшая установка (фиг. 7-9,*а*) собирается на базе радиоприемника, к которому добавляют оконечный усилитель необходимой мощности. В такой установке почти всегда возможна передача граммзаписи, так как большинство радиоприемников имеет гнезда для включения звукоснимателя. Для осуществления местных передач лучше всего применить пьезоэлектрический микрофон, который можно включать непосредственно в гнезда звукоснимателя (адаптера), или угольный микрофон, схема включения которого в приемник показана на фиг. 7-9,*а* справа.



Фиг. 7-9. Типовые блок-схемы усилительных установок
а — простейшая установка с радиовещательным приемником *б* — радиоузел мощностью 50—100 *вт*; *в* — радиоузел с двумя оконечными усилителями; *П* — приемник; *Зв* — звукосниматель; *ОУ* — оконечный усилитель; *Гр* — громкоговорители; *М* — микрофон; *МУ* — микрофонный усилитель; *ПУ* — предварительный усилитель; *ВК* — щит выходной коммутации и линейной защиты; *С* — сигнализация; *ПК* — пульт управления и контроля; *ОУ-1* — первый оконечный усилитель; *ОУ-2* — второй оконечный усилитель; *И* — источник питания; *Т* — трансляционная линия.

Фиг. 7-9,*б* изображает блок-схему обычного радиоузла мощностью 50—100 *вт*, а на фиг. 7-9,*в* представлена блок-схема более мощного узла. В ней имеется два оконечных усилителя, которые можно включать по отдельности; это необходимо в тех случаях, когда число обслуживаемых громкоговорителей колеблется.

Микрофоны. Различные типы микрофонов дают на выходе разные электрические напряжения. Высококачественные микрофоны обладают вообще меньшей чувствительностью. В среднем вещательный угольный микрофон с трансформатором, первичная обмотка которого имеет сопротивление 50—100 *ом*, развивает на зажимах первичной обмотки около 0,1 *в*, ленточный микрофон — только 0,02 *в*, конденсаторный с каскадом усиления—около 0,001—0,005 *в*, а пьезоэлектрический без предварительного усилителя — около 0,01—0,05 *в*.

Угольный микрофон. Действие угольного микрофона основано на изменении сопротивления угольного порошка, заключенного между двумя электродами, при воздействии звуковых колебаний на мембрану. Подобного рода микрофоны развивают наибольшее напряжение, но для их питания необходим постоянный ток до 20 *ма*. Другими недостатками угольных микрофонов являются их большая чувствительность к сотрясениям (они нуждаются в пружинной подвеске) и высокий уровень собственных шумов. Угольный микрофон обладает также определенным порогом восприимчивости, ниже которого звуки не преобразуются им в электрические колебания. Для музыкальных передач он не подходит, так как полоса пропускаемых им частот соответствует главным образом речевому спектру; особенно плохо передает он высокие звуковые частоты. Он наиболее удобен для объявлений или конферанса, так как только в редчайших случаях нуждается в добавочном усилителе и при трансформаторе с большим коэффициентом трансформации может быть присоединен непосредственно ко входу звукоснимателя приемника или предварительного усилителя.

Для передачи объявлений, конферанса и других речевых сообщений пригодны микрофонные капсюли от телефонных аппаратов и диспетчерского типа. Данные угольных микрофонов и капсюлей приведены в табл. 7-3.

Таблица 7-3

Основные данные угольных микрофонов

Параметры	Вещательные		Капсюли		
	ММ-2	ММ-3	МБ-5	ЦБ	Диспетчерский
Напряжение батареи, *в*	8—20	6—12	2,5—3	24	6
Средний ток, *ма*	12—20	10—25	40—70	20—25	50—200
Максимальная э. д. с., *мв*	5	10	1 000	500	2 000
Чувствительность, *мв/бар*	5—10	10	10	10	30
Сопротивление постоянному току, *ом*	250—750	200—500	20—80	200—400	20—80

Кристаллические микрофоны состоят из пьезоэлектрического кристалла (большей частью—кристалл сегнетовой соли), с которым скреплена мембрана из тонкой фольги. Они обладают высоким внутренним сопротивлением и пригодны для непосредственного присоединения к высокоомному входу усилителя. Экранированная линия между микрофоном и усилителем должна быть не более 15 *м* длины (для избежания ослабления высших звуковых частот из-за большой емкости кабеля). Если кристаллический микрофон и усилитель расположены на большом расстоянии друг от друга, то сопротивление микрофона должно быть согласовано с волновым сопротивлением линии трансформатором, который должен понизить его приблизительно до 200 *ом*. Трансформатор удобно вмонтировать в цоколь микрофона. На другом конце линии, длина которой может доходить при этом до 300 *м*, ставится повышающий трансформатор, с которого напряжение поступает на вход предварительного усилителя (обычно этот трансформатор монтируется прямо в усилителе). В случае еще большей длины линий кристаллический микрофон снабжается усилителем, помещенным непосредственно в гильзе под микрофонным капсюлем (усилитель этот питается от батареи, помещающейся в экранированном ящике). Тогда экранированная соединительная линия между микрофонным усилителем, с одной стороны, и предварительным усилителем, с другой, — может доходить до нескольких сот метров.

Конденсаторный микрофон. Его действие основано на изменении емкости между неподвижной пластиной и тонкой мембраной, натянутой на расстоянии 0,02—0,03 *мм* от первой. При конденсаторном микрофоне необходим двухкаскадный усилитель, так как напряжение, развиваемое этим микрофоном, составляет только несколько десятков микровольт. Конденсаторные микрофоны вносят в передачу ничтожные искажения, но они весьма чувствительны к механическим воздействиям.

Электродинамические микрофоны имеют сильный постоянный магнит, в поле которого находится прикрепленная к мембране катушка. При колебаниях мембраны в катушке вследствие пересечения ею магнитных силовых линий возбуждается э. д. с. низкой частоты. Эти микрофоны не требуют дополнительных источников питания, они менее чувствительны к механическим воздействиям и сотрясениям, и так как к тому же они имеют хорошие электрические характеристики, то получили довольно широкое распространение на радиоузлах.

При достаточной чувствительности предварительного усилителя (порядка 50 *мв*) электродинамические микрофоны могут присоединяться ко входу его непосредственно без дополнительного усиления, но через трансформатор, согласующий сопротивление микрофона с входным сопротивлением усилителя. Если же потребуется установка микрофонного усилителя, то он может состоять из одного каскада на высокочастотном пентоде и его можно монтировать не при микрофоне, а вместе с предварительным усилителем.

Все электродинамические микрофоны низкоомные (сопротивление их катушек не превышает нескольких ом). Поэтому во избежание потерь в линии непосредственно в кожухе микрофона установлен трансформатор, согласующий сопротивление микрофона с волновым сопротивлением линии, т. е. его сопротивление приводится к величине 200 или 600 *ом*, что позволяет пользоваться достаточно длинными линиями. На входе усилителя устанавливается второй трансформатор, согласующий линейное сопротивление (200 или 600 *ом*) с входным сопротивлением усилителя.

К низкоомным микрофонам относятся также ленточные микрофоны, состоящие из тонкой алюминиевой ленточки, помещенной между полюсными наконечниками сильного магнита. Ленточка заменяет и мембрану, приводимую в колебания звуковыми волнами, и катушку электродинамического микрофона, в которой наводится э. д. с. низкой частоты. Хотя ленточный микрофон и не нуждается в дополнительном питании, но возбуждаемая в ленточке э. д. с. настолько мала, что при микрофоне приходится устанавливать двухкаскадный усилитель с питанием от постоянного тока. Ленточные микрофоны обладают высокими электроакустическими качествами, им свойственна ярко выраженная направленность действия. Но подобно конденсаторным микрофонам они чрезвычайно чувствительны к сотрясениям и требуют очень аккуратного обращения.

Громкоговорители. Обслуживание большого помещения одним громкоговорителем большой мощности не всегда является наилучшим решением, часто лучше установить несколько громкоговорителей меньшей мощности, обеспечивающих во всех точках помещения равномерную громкость. В больших заводских цехах очень удобны подвесные громкоговорители, а в комнатах общежитий, гостиных и подобных помещениях — обычные электродинамические громкоговорители на настенных отражательных досках или в ящиках.

Под открытым небом отдают предпочтение установке громкоговорителей с короткими рупорами, но в тех лишь случаях, когда нет вблизи зданий, вызывающих эхо, или естественных звукоотражающих преград. В противном случае лучше пользоваться колоколообразными громкоговорителями, которые не вызывают сильного эхо, вследствие чего большие площади могут обслуживаться большим количеством таких громкоговорителей без взаимных помех. Во избежание действия осадков на самую систему рупоры должны быть наклонены вниз под таким углом, чтобы попадающие в них при косом дожде капли сами вытекали наружу.

Согласование громкоговорителей с оконечным усилителем. Мощность отдельных громкоговорителей в сумме должна быть равна мощности усилителя. Если мощность усилителя несколько больше требуемой, то ее излишек равномерно распределяют между всеми громкоговорителями или в предвидении последующего увеличения их количества применяют нагрузочное сопротивление для поглощения этой резервной мощности.

Расчет трансформаторов и громкоговорителей ведут следующим образом. По формуле (3-14г) находят приведенные к первичной обмотке сопротивления нагрузки $R_{пр}$ и по ним и сопротивлениям громкоговорителей определяют по формуле (3-60б) коэффициенты трансформации.

Пример. Усилитель мощностью 20 *вт*, рассчитанный на нагрузочное сопротивление 140 *ом*, должен обслуживать четыре громкоговорителя мощностью по 3 *вт* и четыре — мощностью по 1,5 *вт*.

По формуле (3-14г) находим

$$R_{пр1} = \frac{20 \cdot 140}{3} = 935 \text{ ом}$$

и

$$R_{пр2} = \frac{20 \cdot 140}{1,5} = 1\,870 \text{ ом}.$$

При подборе стандартных трансформаторов эти значения можно увеличить на 10 — 20% или уменьшить на 5 — 10%.

Для проверки расчета следует определить общую величину приведенных сопротивлений в первичных обмотках всех трансформаторов. Приведенные к первичным обмоткам трансформаторов сопротивления громкоговорителей на 1,5 *вт* дают общее сопротивление $R_1 = \frac{1\,870}{4} = 465$ *ом*, а общее приведенное сопротивление громкоговорителей на 3 *вт* составляет

$$R_2 = \frac{935}{4} = 233 \text{ ом}.$$

Следовательно, общее приведенное сопротивление всех громкоговорителей равно

$$R_o = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{465 \cdot 233}{465 + 233} = 156 \text{ ом}.$$

Эта величина отличается от исходной (140 *ом*) примерно на 11,5%, что вполне допустимо.

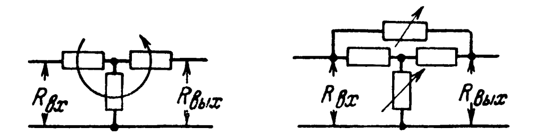
Коэффициент трансформации трансформатора для громкоговорителей на 3 *вт* будет $n_1 = \sqrt{\frac{935}{R_{к1}}}$, а громкоговорителей на 1,5 *вт* составит

$$n_2 = \sqrt{\frac{1\,870}{R_{к2}}},$$

где $R_{к1}$ и $R_{к2}$ — сопротивления звуковых катушек громкоговорителей на переменном токе.

Монтаж усилительных установок. При расстановке микрофонов и громкоговорителей в закрытом помещении или под открытым небом надо выбирать их взаимное расположение так, чтобы создаваемые громкоговорителями звуковые волны достигали микрофона в сильно ослабленном виде, иначе между ними возникнет акустическая обратная связь и передача будет неразборчивой или даже возникнет «вой». Особенно благоприятствует его возникновению внезапный импульс громкости.

Громкоговорители желательно располагать по обеим сторонам микрофона. При наличии в зале колонн громкоговорители следует крепить на них. На открытом воздухе желательны громкоговорители с короткими рупорами или грибовидные (колоколообразные). Наилучшее размещение громкоговорителей определяется опытным путем.



Фиг. 7-10. Схемы регулирования уровня в линии с согласованным сопротивлением.

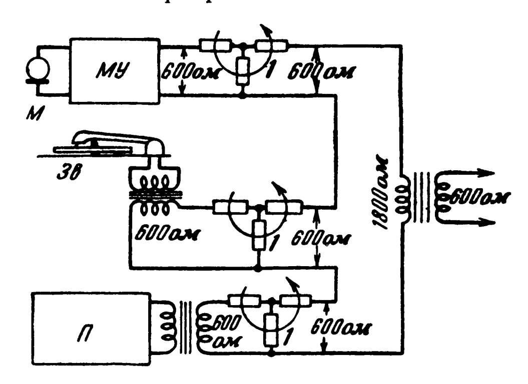
При размещении аппаратуры усилительной установки надо руководствоваться соображениями удобства эксплуатации и ремонта аппаратуры, а также надежности монтажа. В частности, не следует усилительную аппаратуру располагать вплотную к стене; это не только затрудняет доступ к монтажу и усложняет ремонт, но и представляет известную опасность в пожарном отношении. Все подходящие к аппаратуре провода и кабели желательно располагать в стеллажах на специальных стенных кронштейнах на высоте около 2 *м* над полом.

Микрофонные и все другие линии, присоединенные ко входу усилителя, должны быть тщательно экранированы без разрывов. Экранирование линий надо производить тем тщательней, чем больше следует после линии усилительных каскадов. Тщательному экранированию также подлежат трансляционный приемник, звукосниматель на граммофонном пульте, их переключатель и регуляторы громкости. Все металлические части конструкций и кожухи источников программы и связанных с ними приборов (микрофонный штатив, капсюль, усилитель и батарейный ящик, кожух приемника, панель граммофонного пульта и др.) должны быть заземлены. Заземление осуществляется в одной точке (лучше всего на оконечном усилителе), а все остальные экранирующие оболочки соединяются между собой в порядке последовательности прохождения сигнала. Линии громкоговорителей также полезно проложить освинцованным двухжильным кабелем, но можно ограничиться экранированием выходных линий только в помещении радиоузла; при этом одну из жил линии рекомендуется соединять с заземлением. Но если выходные линии не экранируются даже в помещении радиоузла, то они должны быть проложены отдельно от входных и по возможности на большем от них расстоянии.

Линия для головных телефонов. На некоторых радиоузлах, например в больницах, необходимо обслуживать слушателей с помощью головных телефонов. Телефоны для нормальной работы требуют более низкого напряжения, чем громкоговорители с трансформаторами. Кроме того, число включенных в тот или иной момент телефонов может сильно колебаться. Поэтому для включения телефонов следует устраивать отдельную линию, присоединенную на радиоузле к выходу усилителя через специальный секционированный трансформатор, допускающий регулирование согласования линии с усилителем в зависимости от числа включенных телефонов. Целесообразно предусмотреть возможность переключения первичной обмотки этого трансформатора на выход приемника. Тогда линия с телефонами может работать и при выключенном усилителе радиоузла. При расчете трансформатора для линии головных телефонов можно считать, что мощность одной пары телефонов составляет около 0,01 *вт*, а полное сопротивление их на частоте 800 *гц* равно 12 000 *ом* (для высокоомных телефонов, у которых сопротивление постоянному току равно 4 000 *ом*). Линия телефонов может быть неэкранированной, но один из проводов ее надо заземлять.

Регуляторы уровня и смесители. Регулирование уровня передач, поступающих на радиоузел от микрофонов или других источников программы, соединенных с усилителем согласованной линией, а также желаемое иногда смешение двух передач (например, передача информаций на фоне музыки) не должны нарушать согласования сопротивлений источника программы, линий и входных цепей усилителя, так как могут получиться неправильные соотношения громкости и даже значительные частотные искажения. Обычные потенциометры не подходят для этой цели, поэтому приходится применять специальные регуляторы (фиг. 7-10), состоящие из объединенных на одной оси не-

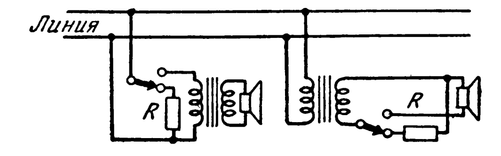
скольких переменных сопротивлений; они работают так, что в процессе регулирования уровня величина входного и выходного сопротивления не меняется. На фиг. 7-11 показано применение таких регуляторов для смешения и плавного переключения программы.



Фиг. 7-11. Смешение и плавное переключение программы.

1 — аттенюаторы на 600 *ом*; *М* — микрофон; *МУ* — микрофонный усилитель; *Зв* — звукосниматель; *П* — приемник.

Индивидуальное управление громкоговорителями. Чтобы при отключении отдельных громкоговорителей на линии не нарушалась согласованность ее с выходом усилителя, применяют переключатели, которые, выключив громкоговоритель, включают вместо него эквивалентное нагрузочное сопротивление. Переключатель можно ввести в первичную или вторичную обмотку трансформатора, питающего громкоговоритель (фиг. 7-12).



Фиг. 7-12. Независимое выключение громкоговорителей.

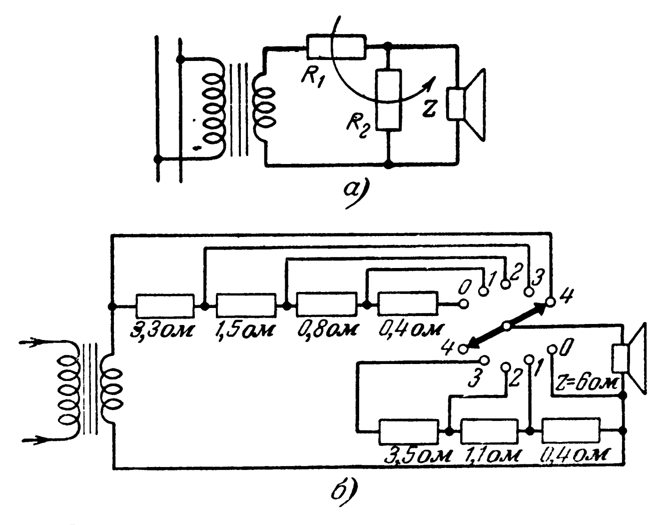
Помимо возможности отключать отдельные громкоговорители, часто желательно иметь возможность регулировать порознь их громкость. Чтобы при этом также не нарушалась согласованность линии и не изменялась нагрузка усилителя, ставят Г-образные ступенчатые регуляторы по схеме фиг. 7-13,*а*. В большинстве случаев допустимо применение ступенчатых регуляторов на три-четыре ступени громкости. Пример Г-образного ступенчатого регулятора для электродинамического громкоговорителя с полным сопротивлением звуковой катушки в 6 *ом* представлен на фиг. 7-13,*б*. Для громкоговорителя с иным сопротивлением звуковой катушки сопротивления Г-образного регулятора могут быть рассчитаны по формулам:

$$R_1 = Z\,\frac{n-1}{n} \tag{7-1a}$$

и

$$R_2 = \frac{Z}{n-1}, \tag{7-1б}$$

где R_1 и R_2 — последовательное и параллельное сопротивления регулятора; Z — полное сопротивление звуковой катушки громкоговорителя и n — отношение, в котором необходимо понизить напряжение.



Фиг. 7-13. Г-образный регулятор громкости.

а — принципиальная схема; *б* — практическая схема регулятора на четыре положения.

Для регулятора на четыре положения (пятое — выключено) числа n будут равны: 1; 2,2; 5; 15. В положении «выключено» R_1 должно быть равно Z, а $R_2 = 0$, что соответствует замене параллельного сопротивления прямым проводником достаточно большого сечения.

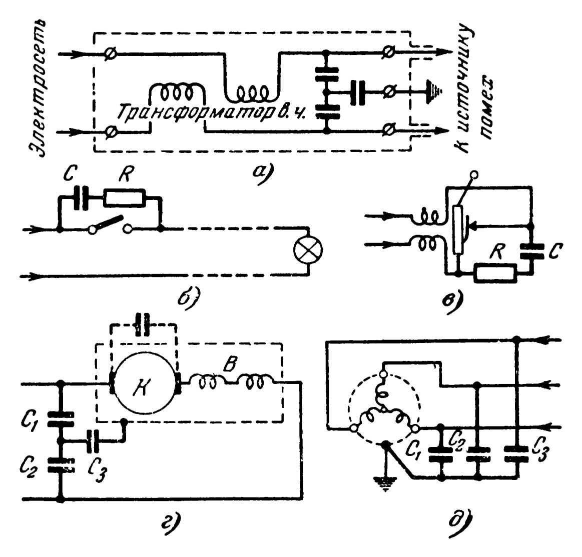
4. УСТРАНЕНИЕ ПОМЕХ СО СТОРОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Радиопомехи бывают как атмосферного происхождения, так и главным образом промышленного (от различных электроустановок, работающих по соседству с приемником). В то время как борьба с атмосферными помехами весьма затруднена, промышленные помехи часто удается устранить с помощью простых средств.

Борьба с ними сводится прежде всего к нахождению причины помехи и места ее возникновения. Если нет данных для непосредственного установления их, то пользуются прибором — искателем помех. Этот прибор представ-

ляет собой переносный радиоприемник, обладающий высокой чувствительностью, снабженный рамочной антенной и экранированной антенной-щупом. Определение источника помех основано на том, что слышимость помехи возрастает по мере уменьшения расстояния между ее источником и искателем помех.

При поисках помех нужно пройти антенной-щупом в первую очередь все провода сети, подозреваемые в том, что они являются их носителями. Вольтметром, включенным на вы-



Фиг. 7-14. Устранение помех.

а — комбинированный фильтр; *б* — защита выключателей и рубильников ($C=0{,}01 \div 2$ *мкф*, $R=5 \div 500$ *ом*); *в* — защита электрического звонка с контактным прерывателем ($C=0{,}01 \div 2$ *мкф*, $R=5 \div 500$ *ом*); *г* — защита коллекторных электрогенераторов или электродвигателей с последовательным возбуждением и незаземленным корпусом (K — коллектор, B — обмотка возбуждения, $C_1=C_2=0{,}1 \div 1$ *мкф*, при переменном токе необходим конденсатор $C_3 < 0{,}01$ *мкф*); *д* — защита асинхронного двигателя ($C_1=C_2=C_3=0{,}05$ *мкф*).

ходе приемника, удается даже измерить напряжение помехи, а по нарастанию его можно определить место возникновения помехи. Найденный источник помех нужно или уничтожить, или заглушить создаваемые им помехи. Так как помехи — это колебания высокой частоты, то подавлять их можно конденсаторами, дросселями или фильтрами. В особенно трудных случаях, например при высокочастотных медицинских приборах, помогает лишь экранирование всех его излучающих частей. Наиболее эффективные средства борьбы находятся опытным путем. Некоторые типовые случаи подавления помех представлены на фиг. 7-14.

При устранении помех надо учитывать следующее:

1. Устранение помех обычно связано с необходимостью работ в установках сильного тока, где во избежание аварий и несчастных случаев могут работать только лица, специально допущенные к ним.

2. Применение средств подавления помех не должно ни понижать электрическую прочность приборов, ни снижать их к. п. д., ни наносить никакого ущерба их работе.

3. Конденсаторы и фильтры, применяемые для устранения помех, должны быть защищены от случайного прикосновения человека к токоведущим частям. У генераторов и электродвигателей переменного тока с заземленным корпусом допускается соединение корпуса с проводом электросети конденсаторами емкостью не более 0,05 *мкф*, а у генераторов и электродвигателей с незаземленным корпусом — не более 0,01 *мкф*. У незаземленных генераторов и электродвигателей постоянного тока допустимо увеличение емкости конденсатора, блокирующего сетевой провод на корпус, до 0,1 *мкф*. Дроссели должны иметь кожухи, предохраняющие обмотку от механических повреждений. Дроссели и конденсаторы надо выбирать с учетом рабочего напряжения или тока, рабочей температуры, влажности и прочих условий эксплуатации. Для машин мощностью более 0,5 *квт* рекомендуется применять конденсаторы со встроенными плавкими предохранителями, защищающими внешние цепи от короткого замыкания в случае пробоя диэлектрика.

4. Прежде чем приступить к подбору искусственных мер устранения помехи, надо проверить состояние источника помехи и устранить в нем все дефекты (например, сменить щетки на коллекторе, почистить загрязненные маслом контакты, исправить неплотные соединения).

5. Сначала надо попытаться обезвредить источник помех простейшими средствами и только постепенно их усложнять. Действие применяемых мер следует проверять на расположенном на должном расстоянии приемнике. Все приспособления для защиты от помех должны устанавливаться непосредственно на их источнике, без длинных соединительных линий. Устройства, к которым доступ затруднен, часто эффективно обезвреживаются в отношении радиопомех включением высокочастотного трансформатора в питающие их провода. Обмотки их должны иметь по возможности меньшую емкость (намотка типа «Универсаль»).

6. Устранение помех со стороны электрооборудования автомобилей достигается следующими мерами: а) каждая зажигательная свеча и ввод кабеля в коробку прерывателя снабжается сопротивлением, величина которого подбирается опытным путем; б) бобина со стороны батареи блокируется конденсатором ем-

костью 0,1 *мкф*; в) зажимы генератора соединяются с корпусом через конденсаторы емкостью по 1 *мкф* или блокируются конденсатором на 0,5 *мкф*; г) полезно заблокировать аккумулятор непосредственно у зажимов электролитическим конденсатором емкостью от 1 до 100 *мкф*. На машинах, где вокруг свечей имеется достаточно свободного места, целесообразно экранирование свечей специально выпускаемыми для этой цели колпачками.

5. ПИТАНИЕ РАДИОАППАРАТУРЫ

Гальванические элементы. Гальванические или первичные элементы создают э. д. с. за счет происходящих в них химических процессов. Выпускаемые сухие элементы представляют собой элементы Лекланше, состоящие из цинка (отрицательный электрод), угля (положительный электрод), раствора нашатыря с примесью крахмала (электролит) и смеси перекиси марганца с графитом (деполяризатор). Так как э. д. с. элемента зависит только от примененных в нем веществ и не зависит от количества этих веществ, то все элементы обладают одинаковой начальной э. д. с., которая в зависимости от посторонних примесей в них колеблется от 1,4 до 1,65 *в* (в среднем 1,5 *в*). Начальное рабочее напряжение (на зажимах) меньше начальной э. д. с. в среднем на 0,1 *в*. Элементы Лекланше считаются окончательно разряженными, когда их напряжение упадет до 0,7 *в*.

Количество электричества, которое отдает свежеизготовленный элемент в цепь в течение всего разряда, называется его **начальной емкостью** Q и указывается на этикетке в ампер-часах (*а-ч*). По этой величине можно узнать, какой ток может давать элемент в течение заданного времени, или сколько времени он может давать заданный ток:

$$Q = I \cdot t, \quad (7\text{-}2а)$$

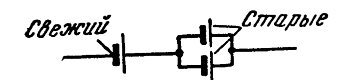
где Q — в *а-ч*, I — в *а* и t — в час.

Из этой формулы можно определить (ориентировочно) число рабочих часов гальванического элемента при заданном разрядном токе:

$$t = \frac{Q}{I}. \quad (7\text{-}2б)$$

Реальная емкость, которую удается отобрать от элемента, зависит от условий его эксплуатации и обычно не достигает обозначенной на этикетке величины. Это объясняется главным образом следующими причинами:

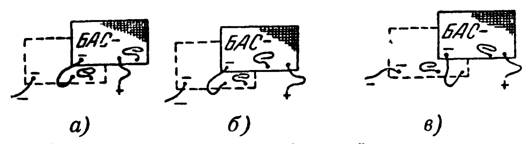
1. Наличие химических примесей и внутренних утечек тока вызывает саморазряд элементов, который при длительном хранении элементов уменьшает их емкость, а также э. д. с. В среднем в течение первого года хранения промышленные сухие элементы теряют 20—25%, а сухие батареи—до 40—50% начальной емкости. Большое значение имеют условия хранения элементов и батарей. Очень вредное действие оказывают сырость и высокая (от +15° С и выше) температура. При температуре



Фиг. 7-15. Схема соединения элементов для использования полностью их емкости.

—5—15° С элементы сохраняются в 3—4 раза дольше, чем при комнатной температуре. Замерзшие гальванические элементы и батареи восстанавливают свои свойства после оттаивания.

2. Увеличение разрядного тока сверх значения, указанного для данного элемента, вызывает уменьшение емкости до 40—50% от номинальной. Уменьшение разрядного тока вдвое



Фиг. 7-16. Схемы соединения батарей для использования полностью их емкости.

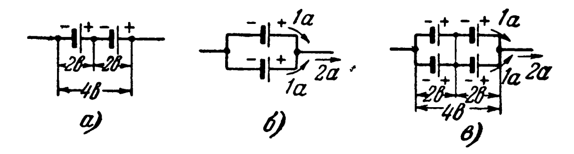
а — свежие батареи: *б* — после снижения напряжения на 20 *в*: *в* — после вторичного снижения на 20 *в*.

увеличивает емкость в среднем в полтора раза, а число рабочих часов элемента возрастает втрое.

3. Установленное стандартом конечное напряжение, до которого следует разряжать элементы для получения от него полной емкости, составляет 0,7 *в* для накальных элементов и 1 *в* для анодных батарей (на каждый элемент). Накальные батареи обычно удается разряжать лишь до 0,9—1 *в* на элемент, так как при дальнейшем понижении напряжения лампы перестают нормально работать. При этом накальные элементы отдают в лучшем случае 60% емкости. Оставшиеся 40% можно реализовать, если составить батарею накала из свежих и старых элементов (фиг. 7-15). Если сухие анодные батареи разряжать не до 1 *в* на элемент, а до 0,7 *в*, что вполне возможно при добавлении свежих секций (фиг. 7-16), то отдаваемая ими емкость, а вместе с нею и срок службы батарей увеличивается в 2—3 раза.

4. На реальную емкость гальванических элементов оказывает влияние рабочая температура, при которой происходит их разряд.

Пределы рабочих температур сухих элементов и батарей обозначаются входящими в состав марки буквами: Л — летние (от —20 до +60° С), Х — хладостойкие (от —40 до +40° С) и У — универсальные (от —50 до +60° С). Независимо от типа элемента или батареи номинальную емкость они отдают в случае разряда при температуре +20° С, а повышение температуры вплоть до верхнего предела рабочих температур не оказывает заметного влияния на емкость. Понижение рабочей температуры до 0° С уменьшает емкость



Фиг. 7-17. Соединение источников постоянного тока.
а — последовательное; *б* — параллельное; *в* — смешанное.

сухих элементов и батарей на 20—30%. При температуре —15° С они отдают в среднем 50% емкости. Дальнейшее понижение рабочей температуры резко уменьшает емкость, которая при низшем пределе рабочих температур составляет всего лишь 10—30% от номинальной.

5. Когда разрядный ток превышает нормальную величину, полезно применять разряд с перерывами (цикличный разряд). Наибольший эффект получается, если время каждого включения невелико (до 10 мин.), при этом перерыв должен быть во столько раз дольше включения, во сколько раз ток разряда больше нормального.

Аккумуляторы. Аккумуляторы (вторичные элементы) отличаются от гальванических (первичных) элементов тем, что процесс разряда является у них вторым по счету электрическим процессом, так как разряду предшествует заряд их электрическим током от постороннего первоисточника. Заряд аккумулятора сопровождается химической реакцией, при которой содержащиеся в нем вещества переходят в новые, запасая в себе химическую энергию. При разряде новые вещества восстанавливаются в первоначальные, причем они отдают запасенную в них при заряде химическую энергию в форме электрического тока.

Основным достоинством аккумулятора по сравнению с гальваническим элементом является возможность многократного повторения зарядно-разрядных циклов без потери химических веществ. Кроме того, аккумуляторы позволяют получать от них значительно бо́льшие токи, чем от гальванических элементов. Внутреннее сопротивление аккумуляторов много меньше, чем у элементов Лекланше.

По химическому составу различают аккумуляторы кислотные и щелочные. *Кислотные* аккумуляторы дают рабочее напряжение 2 *в* на банку и обладают лучшими электрическими характеристиками, чем щелочные, но требуют более сложного ухода за собой, обладают меньшей механической прочностью и дают вредные для организма человека и для аппаратуры испарения. Как правило, кислотные аккумуляторы применяются в мощных стационарных радиоустановках и располагаются при этом в отдельном помещении. Исключение составляют автомобильные радиоприемники, питающиеся от стартерного аккумулятора автомобиля, который всегда бывает кислотным.

Щелочные аккумуляторы дают напряжение порядка 1,2—1,25 *в* на банку. Небольшие щелочные аккумуляторы являются чуть ли не основным источником питания портативных переносных радиоустройств. Они с равным успехом могут применяться для питания радиовещательных приемников в неэлектрифицированной местности. Щелочные аккумуляторы наиболее подходят и для малых ветроэлектрических станций. Неприхотливость щелочных аккумуляторов в отношении условий эксплуатации и простота обслуживания заставляют довольно часто отдавать им предпочтение перед кислотными. Серьезную опасность для щелочного аккумулятора представляет температура выше +45° С; она навсегда снижает его емкость до 40%.

Соединение источников постоянной э. д. с. Существует три способа соединения элементов: последовательное, параллельное и смешанное (фиг. 7-17).

Батарея *последовательно соединенных* элементов (фиг. 7-17,*а*) обладает напряжением, равным сумме напряжений всех соединенных элементов:

$$U_o = U_1 + U_2 + U_3 + \dots, \qquad (7\text{-}3а)$$

где U_o — напряжение батареи;
U_1, U_2, U_3,... — напряжения 1-го, 2-го, 3-го и т. д. элементов, образующих батарею.

Обычно батарея составляется из одинаковых элементов, т. е. $U_1 = U_2 = U_3$ и т. д.; тогда

$$U_o = n \cdot U_1, \qquad (7\text{-}3б)$$

где n — количество последовательно соединенных элементов.

Общая емкость последовательно соединенных элементов равна емкости одного

элемента. Не изменяется и допустимый разрядный ток.

Пример. Батарея состоит из трех последовательно соединенных элементов. Напряжение каждого из них $U = 1{,}65$ *в*. Определить напряжение батареи.

По формуле (7-3б) находим $U_o = 3 \cdot 1{,}65 = 4{,}95$ *в*.

Батарея *параллельно соединенных* элементов (фиг. 7-17,*б*) составляется исключительно из однотипных элементов. Напряжение такой батареи остается тем же, что и у одного элемента, но ее емкость увеличивается во столько раз, сколько элементов соединено параллельно.

$$Q_o = Q_1 \cdot m, \qquad (7\text{-}4)$$

где Q_o — емкость батареи; Q_1 — емкость одного элемента и m—число параллельно соединенных элементов.

Допустимый разрядный ток параллельно соединенных элементов

$$I_o = I_1 \cdot m, \qquad (7\text{-}5)$$

где I_o— разрядный ток батареи; I_1 — разрядный ток одного элемента и m — число параллельно соединенных элементов.

Пример. Батарея составлена из четырех параллельно соединенных элементов, емкость каждого из которых Q_1=30 *а-ч*. От батареи берется ток I_o=300 *ма*. Определить общую емкость батареи Q_o и ток разряда каждого элемента I_1.

По формуле (7-4) находим Q_o=30·4=120 *а-ч* и из формулы (7-5) определяем

$$I_1 = \frac{I_o}{m} = \frac{300}{4} = 75 \text{ ма}.$$

Смешанное соединение элементов применяется для одновременного повышения напряжения и разрядного тока. Такая батарея составляется параллельным соединением нескольких групп последовательно соединенных элементов (фиг. 7-17,*в*). Число элементов в каждой группе одинаково и определяется из условий получения необходимого напряжения по формуле (7-3). Сколько таких групп надо соединить параллельно, определяется из условий получения необходимого разрядного тока или емкости по формулам (7-4) и (7-5).

Пример. Из сухих элементов типа 6С-МВД ($U_1 = 1{,}3$ *в* и $I_1 = 0{,}25$ *а*) надо составить батарею накала для приемника, потребляющего ток накала I_o=0,46 *а* при напряжении $U_o = 2$ *в*.

Число параллельно соединенных элементов в одной группе, обеспечивающей ток 0,46 *а*, равно

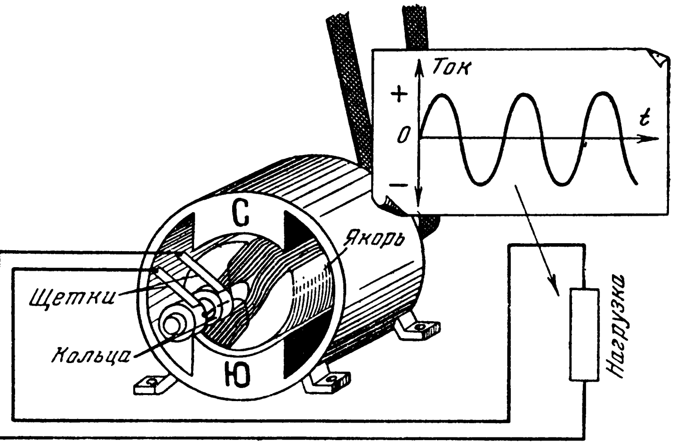
$$m = \frac{I_o}{I_1} = \frac{0{,}46}{0{,}25} = 2 \text{ элемента}.$$

Количество групп, обеспечивающее при последовательном соединении напряжение 2 *в*, равно

$$n = \frac{U_o}{U_1} = \frac{2}{1{,}3} = 2 \text{ группы}.$$

Примечание. Две последовательные группы дают напряжение $U_o = 2{,}6$ *в*. Излишек напряжения в 0,6 *в* нужно погасить реостатом накала.

Механические генераторы тока. Если проводник движется в магнитном поле и пересекает его силовые линии или, наоборот, неподвижный проводник находится в движущемся магнитном поле, то в проводнике индуктируется э. д. с., направление которой зависит от направления силовых линий поля и от направления движения проводника. На этом принципе и основаны механические генераторы электрического тока.

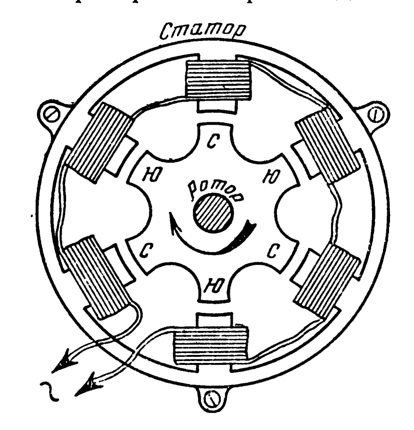


Фиг. 7-18. Генератор переменного тока.

Генераторы переменного тока. Простейший генератор переменного тока (фиг. 7-18) состоит из якоря с обмоткой, концы которой выведены к двум изолированным друг от друга и расположенным на оси якоря кольцам. Якорь приводится во вращение (от постороннего двигателя) и пересекает силовые линии постоянного магнитного поля, создаваемого магнитом *Ю—С*. Появляющаяся при этом в обмотке э. д. с. вызывает ток во внешней цепи, присоединенной к кольцам через скользящие по ним щетки. Этот ток будет переменным, потому что э. д. с. в обмотке меняет свое направление в зависимости от того, под каким полюсом и в каком направлении в данный момент проходит та или другая половина обмотки якоря.

Генераторы переменного тока чаще выполняются по принципу, изображенному на фиг. 7-19. Якорную обмотку, в которой возбуждается э. д. с., делают неподвижной и называют статором, а вращающийся маг-

нит — р о т о р о м. Ротор обычно бывает многополюсным; на соответствующее число отдельных секций разбивают и статорную обмотку. В таких генераторах за время одного оборота

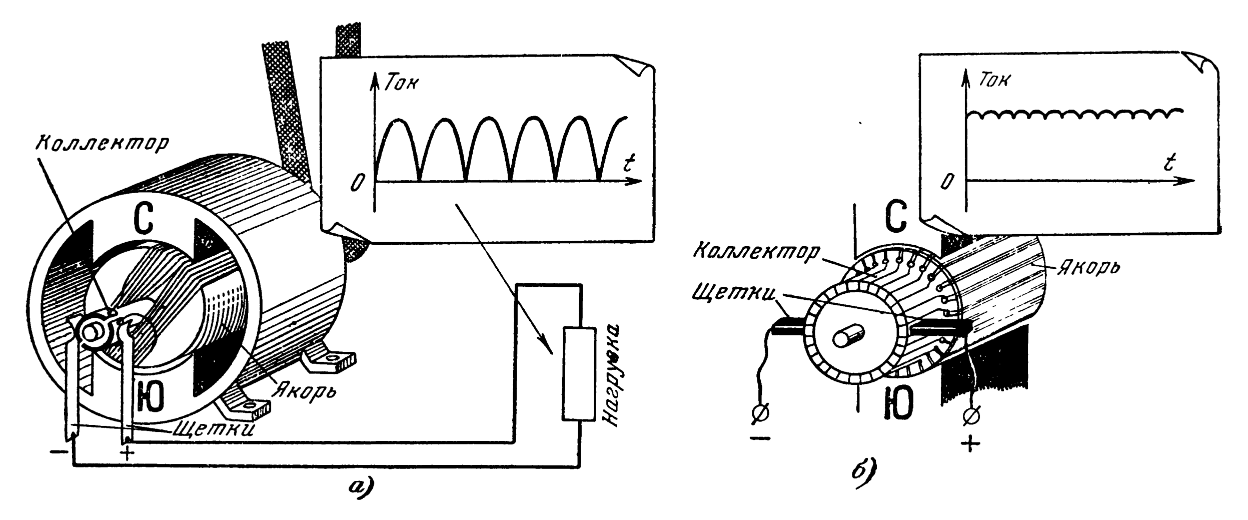


Фиг. 7-19. Генератор переменного тока с неподвижным якорем и вращающимися магнитами.

ротора протекает несколько полных периодов э. д. с. На практике секционированные обмотки статоров имеют более сложное устройство, чем это показано на фиг. 7-19: отдельные катушки заменяются непрерывной намоткой, витки которой укладываются в пазах на внутренней поверхности статора. В мощных генераторах переменного тока для создания магнитного поля применяют не постоянные магниты, а электромагниты, которые питают от небольшого генератора постоянного тока (возбудителя), объединяемого с главным генератором на одном валу.

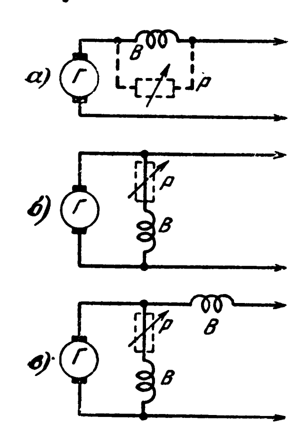
Генераторы постоянного тока. Для получения постоянного тока применяются примерно такие же генераторы с вращающимся якорем, как и для получения переменного тока. В якорной обмотке генератора постоянного тока индуктируется переменная синусоидальная э. д. с., но чтобы в нагрузочной цепи эта э. д. с. давала ток постоянного направления, вместо токосъемных колец ставится к о л л е к т о р. В простейшем виде коллектор состоит из двух полуколец (фиг. 7-20,*а*), соединенных с концами якорной обмотки. Щетки, скользящие по этим полукольцам, располагаются таким образом, что при вращении якоря в момент смены полярности э. д. с. каждая щетка переходит с одного полукольца на другое, т. е. на каждой щетке получается э. д. с. всегда одного и того же знака. Следовательно, коллектор выпрямляет переменный ток в ток пульсирующий. Чтобы сгладить эти пульсации, применяются многопластинчатые коллекторы (фиг. 7-20,*б*), у которых число пластин равно числу секций (частей) якорной обмотки генератора.

В генераторах постоянного тока магнитное поле тоже очень часто получают с помощью специальных обмоток возбуждения, располагаемых на выступающих частях (башмаках) стальной станины. В зависимости от схемы включения обмоток возбуждения различают генераторы постоянного тока с последовательным, параллельным и смешанным самовозбуждением (фиг. 7-21). У генератора с п о с л е д о в а т е л ь н ы м в о з б у ж д е н и е м напряжение на зажимах с увеличением тока нагрузки от нуля до номинальной величины увеличивается сначала быстро, а затем более медленно и, наконец, рост его прекращается; при больших перегрузках напряжение вновь умень-



Фиг. 7-20. Генераторы постоянного тока.

шается. Генератор с параллельным возбуждением дает относительно постоянное напряжение независимо от нагрузки вплоть до номинальной. Генераторы со смешанным возбуждением, сочетающие в себе преимущества обоих способов возбуждения, являются наиболее совершенными, а потому они получили наибольшее распространение, особенно при работе с резко и часто меняющейся нагрузкой.



Фиг. 7-21. Способы включения обмоток возбуждения генераторов постоянного тока.

а — генератор с последовательным возбуждением; *б* — генератор с параллельным возбуждением; *в* — генератор со смешанным возбуждением; *Г* — якорь генератора; *В* — обмотка возбуждения; *Р* — реостат возбуждения.

Условием самовозбуждения генератора является наличие остаточного магнетизма в стали станины. Если остаточного магнетизма недостаточно, генератор сам не возбудится. Тогда надо возбудить генератор от постороннего источника постоянного тока, например от аккумулятора, после чего самовозбуждение возобновляется. Для этого один из концов параллельной обмотки отключают от якоря и затем, соблюдая должную полярность, к ней присоединяют на некоторое время аккумулятор, обеспечивающий необходимые напряжение и ток.

Возбуждение генераторов с помощью электромагнитов создает возможность регулирования величины генерируемой э. д. с. Для этого в цепи обмоток возбуждения вводятся специальные реостаты (реостаты возбуждения), которые регулируют ток в обмотке возбуждения и этим изменяют величину магнитного потока, пронизывающего якорь генератора. Наличие реостата возбуждения позволяет поддерживать неизменными э. д. с. и мощность генератора при изменениях числа его оборотов.

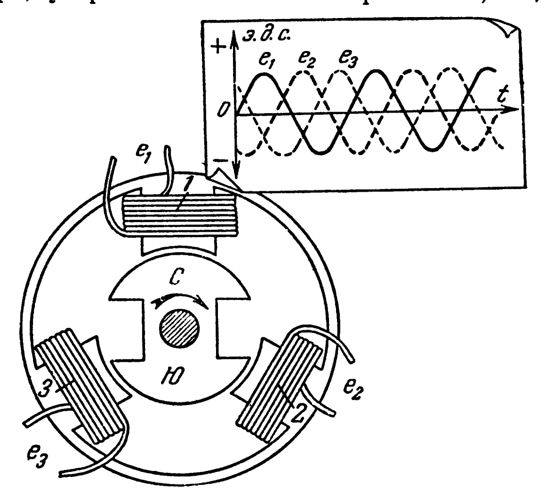
Пересчет любой обмотки генератора на другое напряжение производится по формулам (3-20) и (3-21). Тогда при сохранении прежней мощности новый ток:

$$I' = \frac{U \cdot I}{U'}. \qquad (7\text{-}6)$$

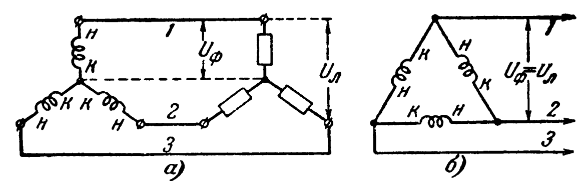
Схемы включения реостатов возбуждения (на фиг. 7-21) обозначены пунктиром.

Все сказанное о генераторах в равной степени относится к генераторной части вращающихся преобразователей тока и умформеров.

Трехфазный ток. Трехфазный ток можно получать от специальных генераторов, у которых якорь имеет три самостоятельные обмотки, смещенные друг относительно друга на 120° (фиг. 7-22). Один оборот ротора в генераторе, устроенном по схеме фиг. 7-22, индуктирует в каждой якорной обмотке по одному периоду синусоидальной э. д. с., сдвинутые по фазе на угол, равный сдвигу якорных обмоток по окружности, т. е. 120° (фиг. 7-22). Если от такого генератора провести три самостоятельные двухпроводные линии к нагрузочным сопротивлениям, то каждая линия будет работать как обычная однофазная сеть переменного тока.



Фиг. 7-22. Принцип получения трехфазной э. д. с.



Фиг. 7-23. Соединения обмоток генератора.

а — звездой; *б* — треугольником (*н* — начало; *к* — конец обмотки; *1*, *2* и *3* — номера фаз).

Если заменить обратные провода всех трех линий одним общим, то получается так называемое соединение звездой (фиг. 7-23,*а*, где общий провод изображен пунктирной линией). При равномерной нагрузке на каждую фазу, чего всегда старательно добиваются на практике, этот общий провод оказывается совсем ненужным, потому что все три тока в нем компенсируются и общий ток оказывается равным нулю. Однако если при такой схеме включения нагрузка между фазами будет распределена неравномерно (это может иметь место в осветительной сети, где включение отдельных

ламп в различных фазах не всегда согласовано), то баланс токов нарушается и в этом случае общий (нулевой) провод необходим.

Возможно также соединение как обмоток генератора, так и нагрузочных сопротивлений по схеме треугольника (фиг. 7-23,*б*).

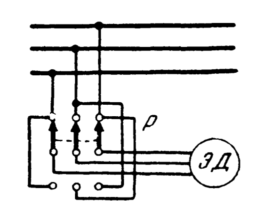
Фазные и линейные напряжения. Напряжения, возникающие на концах каждой обмотки якоря генератора (а также напряжения на каждом нагрузочном сопротивлении при соединении их звездой), называются фазными напряжениями генератора или нагрузки ($U_ф$ на фиг. 7-23). Линейными напряжениями ($U_л$ на фиг. 7-23) называются напряжения между любой парой проводов сети трехфазного тока (исключая нулевой провод, если таковой имеется). При соединении треугольником фазные и линейные напряжения равны. При соединении звездой фазные напряжения в 1,73 раза меньше линейных, что позволяет в одну и ту же сеть включать нагрузочные сопротивления, рассчитанные на различное напряжение. Токи, наоборот, одинаковы в случае соединения обмоток звездой, а в случае соединения их треугольником линейные токи в 1,73 раза больше фазных.

Стандартными линейными напряжениями для промышленных сетей трехфазного тока являются 220 и 380 *в*. Нагрузочные сопротивления, рассчитанные на напряжение, соответствующее линейному напряжению сети, включаются в эту сеть треугольником. В сеть напряжением 380 *в* возможно включать нагрузочные сопротивления, рассчитанные на 220 *в*, а в сеть с напряжением 220 *в* — рассчитанные на 127 *в*, соединяя их звездой.

При обрывах и коротких замыканиях в сетях трехфазного тока наблюдаются перераспределения напряжения на фазных нагрузочных сопротивлениях. Обрыв одного линейного провода при соединении нагрузочных сопротивлений звездой и отсутствии нулевого провода влечет за собой прекращение тока в соответствующей фазе и снижение напряжения на других двух фазах нагрузочных сопротивлений до 0,87 нормального фазного; при соединении нагрузочных сопротивлений треугольником обрыв одного из линейных проводов уменьшает напряжения на двух присоединенных к нему фазах до 0,5 нормального значения, а третья фаза остается под полным напряжением. Короткое замыкание в одном из нагрузочных сопротивлений, включенных звездой, приводит к увеличению напряжения на остальных двух до линейного напряжения. Короткое замыкание в одной из фаз при соединении нагрузочных сопротивлений треугольником равноценно короткому замыканию соответствующей пары линейных проводов (оно предотвращается линейными предохранителями).

Четырехпроводные сети трехфазного тока (с нулевым проводом). В нулевой провод не ставятся ни выключатели, ни предохранители, так как обрыв его нарушает равенство фазных напряжений (что может послужить, например, причиной перегорания электроламп).

Асинхронные электродвигатели. В установках, пользующихся трехфазным током, широко применяются как обладающие рядом преимуществ перед другими электродвигателями асинхронные двигатели. Принцип их действия заключается в следующем. В размещенной на статоре трехфазной обмотке, если ее приключить к электросети, получается вращающееся магнитное поле. Это поле будет индуктировать в проводниках ротора трехфазные э. д. с., под влиянием которых в проводниках ротора будут проходить токи. В результате взаимодействия этих токов с вращающимся магнитным полем статора ротор будет вращаться. Обмотка статора может соединяться и треугольником, и звездой в зависимости от напряжения сети.



Фиг. 7-24. Переключение направления вращения асинхронного двигателя.

ЭД — электродвигатель; *Р* — трехполюсный перекидной рубильник

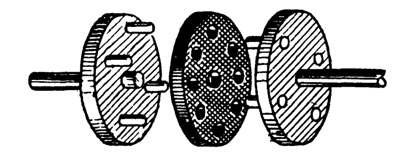
Асинхронные двигатели производятся на любые мощности и на разное число оборотов (3 000, 1 500, 1 000 об/мин и т. д.). Они поддерживают неизменное число оборотов почти независимо от нагрузки, просты в обращении и не требуют особого ухода за собой. Перемена направления вращения осуществляется пересоединением двух любых фаз (фиг. 7-24).

Вращающиеся преобразователи. *Вращающийся агрегат* (двигатель-генератор). В качестве мощных силовых установок преобразования одного вида тока в другой (например, переменного в постоянный) применяются вращающиеся преобразователи, состоящие из объединенных на одном валу электродвигателя и генератора. Электродвигатель выбирается в соответствии с имеющимся источником электроэнергии, а генератор — в соответствии с тем, какой ток необходимо получить.

Выполнение вращающихся преобразователей требует соблюдения ряда условий. Мощность генератора, как и номинальное напряжение его, должны обеспечивать нормальную работу установки. Желательно применять генератор мощностью на 20—50% больше той, кото-

рую будет расходовать установка, это предотвратит уменьшение мощности при понижении питающего электродвигатель напряжения. Мощность электродвигателя следует выбирать вдвое выше мощности генератора, так как к. п. д. таких преобразователей обычно составляет 60—70%. Некоторый запас мощности и здесь стабилизирует работу установки при снижении напряжения питающей сети.

Наибольший к. п. д. преобразователя получается при объединении генератора и электро-



Фиг. 7-25. Сцепление двигателя и генератора с помощью шайбы из прорезиненной ткани.

двигателя на одном валу, для чего необходимо равенство номинальных чисел их оборотов. Для предотвращения передачи вибраций ротора электродвигателя к генератору сцепление осуществляется через промежуточную войлочную или резиновую шайбу (фиг. 7-25). При отсутствии возможности подобрать электродвигатель и генератор с одинаковым числом оборотов следует применять ременную передачу с отношением диаметров шкивов

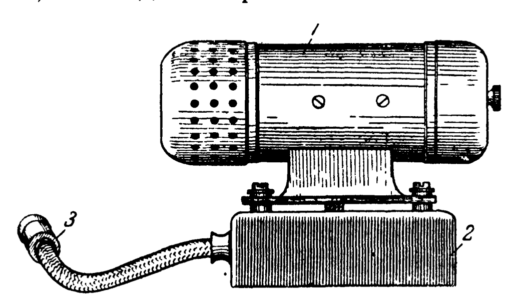
$$\frac{D_Г}{D_Д} = 1{,}05\ \frac{n_Д}{n_Г}, \qquad (7\text{-}7)$$

где $D_Д$ и $D_Г$ — диаметры шкивов на валу электродвигателя и генератора, а $n_Д$ и $n_Г$ — номинальные числа их оборотов.

При выборе диаметра шкивов следует учитывать, что слишком малые шкивы дают плохое сцепление, в результате чего наблюдается пробуксовывание ремня. Для улучшения сцепления при ременной передаче можно натирать ремни канифолью.

Умформер. Разновидностью вращающегося преобразователя является умформер. В нем якорные обмотки электродвигателя и генератора размещены на одном якоре, вращающемся в магнитном поле, создаваемом общей обмоткой возбуждения, которая питается от первоисточника вместе с обмоткой электродвигателя. Подобные преобразователи выпускаются для получения напряжения постоянного тока небольших мощностей (от 10 до 500 *вт*). Общий вид умформера показан на фиг. 7-26. Коэффициент полезного действия умформеров составляет 50—60%. Многие из умформеров рассчитаны на кратковременные включения (по 5—10 мин. с перерывами 10—20 мин.), что надо учитывать при эксплуатации во избежание их перегрева и выхода из строя.

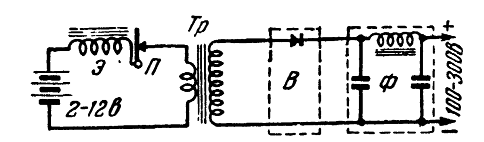
В процессе эксплуатации умформеров, как и любых других коллекторных электрических машин, необходима периодическая очистка пла-



Фиг. 7-26. Внешний вид умформера (РУК-300, 18/1 500 *в*).

1 — умформер; *2* — фильтр; *3* — соединительная фишка.

стин коллектора и зазоров между пластинами от угля, натираемого щетками. Очистку эту удобно производить тряпочкой, слегка смоченной в авиационном бензине. При смене износившихся щеток новые щетки надо притирать, чтобы их поверхность, соприкасающаяся с коллектором, получила форму цилиндрической поверхности коллектора. Для этого коллектор обертывают лентой наждачной бумаги (шкур-



Фиг. 7-27. Принципиальная схема вибропреобразователя.

кой наружу) и, вставив щетки в щеткодержатели, провертывают несколько раз ротор вручную. Сначала можно применить не слишком мелкую бумагу, но окончательная притирка производится самой мелкой наждачной бумагой («000»).

Вибрационный преобразователь. Вибрационный преобразователь служит для повышения напряжения постоянного тока.

Упрощенная схема вибропреобразователя представлена на фиг. 7-27. Вибратор, состоящий из электромагнита *Э* и контактного прерывателя *П*, включен в цепь постоянного тока последовательно с первичной обмоткой повышающего трансформатора *Тр*. Якорь вибратора подобно якорю электрического звонка вибрирует и периодически размыкает эту цепь, так что через первичную обмотку трансформатора

проходит пульсирующий ток. Переменная составляющая этого тока повышается во вторичной обмотке трансформатора до необходимой величины, а затем выпрямляется выпрямляющим устройством *В*, в качестве которого зачастую используются дополнительные контакты самого вибратора. Для сглаживания пульсации выпрямленного напряжения применяется фильтр *Ф*, после которого получается практически постоянный ток.

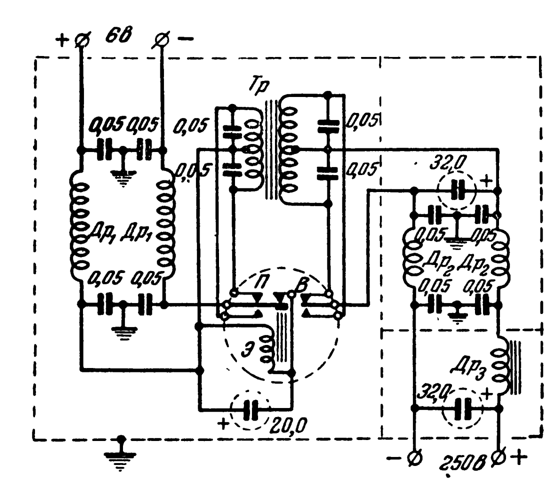
Фиг. 7-28. Устройство вибратора.

Э — электромагнит; *Я* — якорь; *П* - контакты прерывателя; *В* — контакты выпрямителя; *Р* — губчатая резина.

Вибропреобразователи применяются в радиоаппаратуре, питающейся от аккумуляторов, для получения анодного напряжения, когда преобразуемая мощность не превышает 10—20 *вт*. Коэффициент полезного действия различных конструкций вибропреобразователей колеблется в пределах 30—60%. Срок службы вибратора в большой мере зависит от материала контактов прерывателя, подгонки их соприкасающихся поверхностей и режима работы преобразователя. В редких случаях срок службы вибратора превышает 1 000 час. Поэтому они выполняются в виде сменной детали, снабженной подобно радиолампе цоколем со штырьками (фиг. 7-28). Для заглушения шума, создаваемого вибрирующим якорем, вибратор укрепляется внутри кожуха с помощью амортизирующих колец из губчатой резины.

Практическая схема вибропреобразователя автомобильного радиоприемника представлена на фиг. 7-29. Контакты *П* осуществляют переключение полярности низкого напряжения на концах первичной обмотки трансформатора *Тр*. Частота переменного напряжения на вторичной обмотке трансформатора совпадает с частотой вибрации якоря вибратора. Поэтому контакты *В* при каждой смене полярности переключают соединенные с нагрузочным сопротивлением концы вторичной обмотки и сохраняют на нем неизменную полярность напряжения.

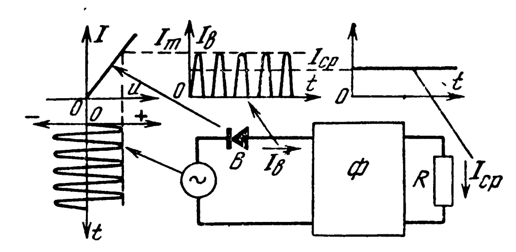
Контакты вибратора создают высокочастотные помехи, для снижения которых вибратор и весь вибропреобразователь тщательно экранируются, обмотки трансформатора блокируются конденсаторами (емкостью 0,02—0,1 *мкф*), обмотка вибратора блокируется конденсатором большой емкости (порядка 10—40 *мкф*) и в цепи низкого и высокого напряжения вводятся высокочастотные фильтры (обычно П-образные, симметрированные относительно шасси).



Фиг. 7-29. Схема вибропреобразователя автомобильного радиоприемника.

Вентильные выпрямители. Для выпрямления переменного тока в постоянный наибольшее применение получили выпрямители, основанные на использовании односторонней проводимости многих приборов, называемых в е н т и л я м и.

Идеальная вольтамперная характеристика (зависимость тока от напряжения) вентиля показана на фиг. 7-30. Если к прибору, обла-



Фиг. 7-30. Принцип выпрямления переменного тока.

дающему такой вольтамперной характеристикой, приложить переменное напряжение *u*, то ток через него пройдет лишь в момент действия положительных полупериодов этого напряжения и этот ток будет пульсирующим, который можно представить как сумму двух составляющих: постоянной и переменной. Если последовательно с вентилем *В* включить через соответствующий фильтр *Ф* нагрузочное сопротивление *R*, то через это сопротивление будет проходить только постоянная составляющая $I_{ср}$

пульсирующего тока. На этом принципе и основано применение вентилей в качестве выпрямителей переменного тока.

Параметры вентилей. Основными параметрами каждого вентиля являются: 1) максимально допустимый импульс тока через него, 2) максимально допустимое обратное напряжение, 3) внутреннее сопротивление вентиля (в направлении рабочего тока) и 4) сопротивление вентиля току обратного направления.

Величина импульсов пульсирующего тока значительно больше его постоянной составляющей. Обычно максимальный импульс тока через вентиль втрое превосходит значение выпрямленного тока. Таким образом, допустимый максимальный импульс определяет наибольшее значение выпрямленного вентилем тока. Чем меньше внутреннее сопротивление вентиля, тем меньше падение напряжения на нем при прохождении через него прямого (рабочего) тока. Как правило, это прямое падение напряжения в вентиле составляет лишь несколько процентов от величины выпрямляемого напряжения. Сопротивление вентиля току обратной полярности во много раз превышает сопротивление нагрузки, а потому при обратной полярности все напряжение источника тока оказывается приложенным к вентилю. В зависимости от схемы выпрямителя, параметров фильтра и нагрузочного сопротивления импульсы обратного напряжения могут доходить до удвоенного значения амплитуды напряжения источника тока. Таким образом, параметр «максимально допустимый импульс обратного напряжения» косвенно определяет наибольшее выпрямляемое вентилем напряжение.

Что касается сопротивления вентиля току обратного направления, то если оно недостаточно велико, получается плохое выпрямление тока, что снижает к. п. д. выпрямителя и требует усложнения фильтра.

Кенотронный выпрямитель, использующий в качестве вентиля электронную лампу, позволяет получать постоянный ток до 150—200 *ма,* вполне достаточный для питания большинства приемно-усилительных и многих других радиоаппаратов. Кенотроны обладают очень большим сопротивлением в обратном направлении и выдерживают очень высокие обратные напряжения. Кроме того, кенотроны дешевы и не требуют специального ухода. Коэффициент полезного действия кенотронных выпрямителей колеблется в пределах 60—80%. Срок службы большинства кенотронов, гарантируемый заводом-изготовителем, составляет 600—1 000 час. Износ кенотрона заключается в снижении эмиссии катода, а также в снижении вакуума из-за выделения остатков газа из стекла и электродов, что приводит к уменьшению обратного сопротивления кенотрона. Кенотронные выпрямители нашли очень широкое применение в радиоаппаратуре.

Газотронный выпрямитель. Газотроны принципиально отличаются от кенотронов только наличием в них газа (обычно паров ртути), молекулы которого под влиянием первичного электронного потока распадаются на заряженные частицы: электроны и положительные ионы, которые собственно и определяют прохождение тока через вентиль. Ионизация газа (зажигание газотрона) резко уменьшает внутреннее сопротивление газотрона, а потому они пригодны для выпрямления значительно больших токов, чем кенотроны (газотроны небольших размеров выпрямляют токи до 6 *а*). Поскольку первичный электронный поток, испускаемый катодом, невелик, мощность, расходуемая на его образование, составляет меньший процент от мощности выпрямленного тока, чем у кенотронов, и потому к. п. д. газотронного выпрямителя достигает 90%. Срок службы газотронов больше, чем кенотронов (1 000—2 000 час.).

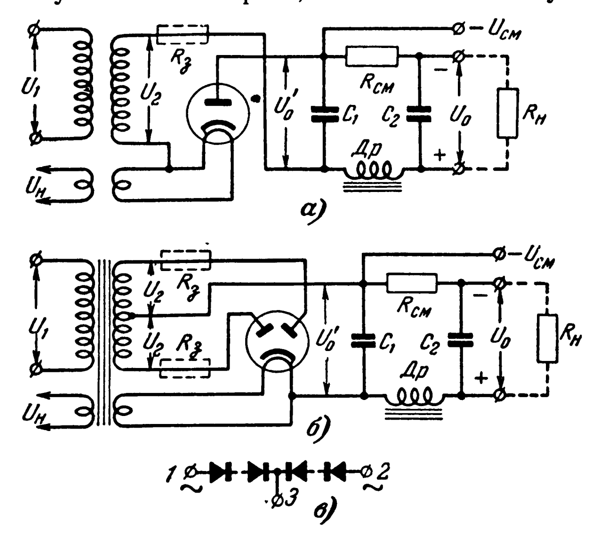
Но газотроны требуют соблюдения специальных правил эксплуатации, в противном случае возможен преждевременный выход их из строя. Во-первых, они должны при каждом включении в течение 3—5 мин. (маломощные) или даже 20—30 мин. (мощные) прогреваться без подачи высокого напряжения[1] и, во-вторых, превышение максимально допустимых амплитуд тока и обратного напряжения приводит к быстрому разрушению газотрона. В качестве предохранительной меры следует избегать применения сглаживающих фильтров с конденсаторным входом. Обычно фильтры газотронных выпрямителей начинаются дросселем. Газотронные выпрямители создают заметные помехи радиоприему.

Ртутные выпрямители обладают очень высоким к. п. д. и позволяют получать постоянный ток в несколько десятков и даже сотен ампер. Но ртутные колбы неустойчиво работают при малых нагрузках и имеют небольшие значения максимально допустимых обратных напряжений. Не свободны ртутные выпрямители и от высокочастотных помех. Запуск в работу ртутного выпрямителя производится не только включением питания, но и еще покачиванием колбы до образования дугового разряда между ртутью катода и ртутью, находя-

[1] Исключение составляют газотроны с аргоновым наполнением, которые могут прогреваться значительно меньше.

щейся в малом отростке колбы, предназначенном специально для зажигания ее. О зажигании колбы свидетельствует появление на поверхности ртути светящегося пятна.

Наибольшее применение ртутные выпрямители находят для зарядки аккумуляторов, причем в цепь выпрямленного тока обязательно включение дросселя. На работающую ртутную колбу нельзя смотреть, так как она излучает



Фиг. 7-31. Схемы кенотронных выпрямителей с П-образным фильтром.

а — однополупериодный выпрямитель; *б* — двухполупериодный выпрямитель; *в* — трехточечный селеновый столбик.

много вредных для глаз ультрафиолетовых лучей.

Параллельное соединение газотронов и ртутных колб допустимо лишь по особым схемам.

Твердые выпрямители. Односторонней проводимостью обладают контактные слои между некоторыми парами различных веществ. На этом принципе основано устройство купроксных (меднозакисных) и селеновых выпрямителей. Выпускаемые в виде отдельных шайб (элементов) или столбиков (набор шайб), эти выпрямители в зависимости от размера шайб и их соединения могут выпрямлять токи от нескольких миллиампер до десятков ампер. Допустимые для них выпрямленные токи могут быть определены по приближенной формуле

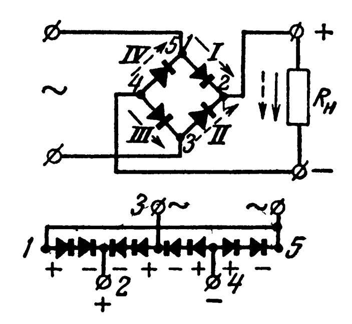
$$I_0 \approx 0{,}2d^2, \qquad (7\text{-}8)$$

где d — диаметр шайбы, *мм*, и I_0 — ток, *ма*.

Обратное напряжение для одной шайбы не должно превышать 18 *в*. В целях повышения обратного напряжения составляют столбики из последовательно соединенных шайб. Так, например, столбик из 16 шайб выдерживает обратное напряжение $18 \cdot 16 \approx 290$ *в*.

При правильной эксплуатации селеновые выпрямители служат более 10 000 час. и к. п. д. их достигает 80—90%. Но на селеновые выпрямители разрушительно действуют влага и высокая температура (нагрев шайб не должен превышать 70° С). У неработающих долгое время селеновых шайб уменьшается сопротивление обратному току, что приводит к ухудшению их выпрямительных свойств. Для предотвращения этого бездействующие селеновые шайбы надо время от времени ставить под ток.

Купроксные выпрямители в последнее время применяются почти исключительно для вы-



Фиг. 7-32. Мостовая схема двухполупериодного выпрямления и селеновый столбик с пятью выводами.

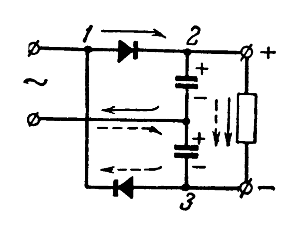
прямления небольших токов (до нескольких миллиампер) в измерительной аппаратуре.

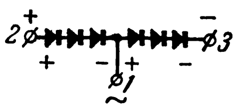
Схемы вентильных выпрямителей. Смотря по тому, в течение какой части периода выпрямляется ток, различают однополупериодные (фиг. 7-31,*а*) и двухполупериодные выпрямители (фиг. 7-31,*б*) Двухполупериодный выпрямитель составляется из двух однополупериодных систем, к которым подводится одинаковое по величине, но сдвинутое на 180° переменное напряжение. Тогда во время запирания одного вентиля работает второй вентиль и ток в нагрузочном сопротивлении не прекращается. Необходимый сдвиг напряжения на 180° получается от силового трансформатора с разделенной пополам вторичной обмоткой. Необходимость применения в схеме двухполупериодного выпрямления двух вентилей привела к выпуску специальных сдвоенных вентилей с общим выводом от катода — двуханодных кенотронов и газотронов и трехточечных селеновых столбиков (фиг. 7-31,*в*).

Для осуществления двухполупериодного выпрямления без трансформатора служит мостовая схема с четырьмя вентилями (фиг. 7-32). Во время одного полупериода ток поступает через вентили *I* и *III* (*II* и *IV* не работают, так как включены в обратном направ-

лении), а во время другого полупериода роли вентилей меняются. Такой выпрямитель большей частью собирается на селеновых шайбах, для чего выпускаются селеновые столбики с пятью выводами.

Существуют также схемы удвоения выпрямленного напряжения. Здесь тоже используются две выпрямительные схемы, но выпрямленные каждой системой напряжения включаются последовательно (фиг. 7-33).





Фиг. 7-33. Схема удвоения напряжения и селеновый столбик с тремя выводами.

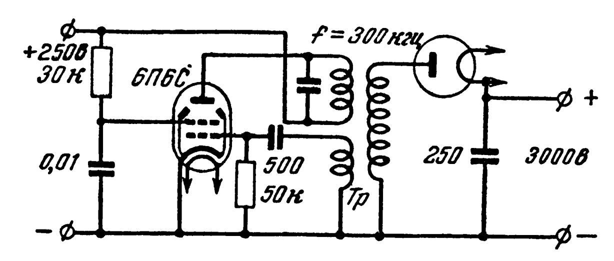
Если имеющиеся в распоряжении вентили не обеспечивают необходимой величины выпрямленного тока, то при любой схеме выпрямления вентили соединяют параллельно.

Частота пульсации выпрямленного напряжения при однополупериодном выпрямлении равна частоте питающего напряжения, а для всех других приведенных здесь схем вдвое больше. Поэтому однополупериодные выпрямители требуют сглаживающих фильтров с большими емкостями и индуктивностями.

Высокочастотные преобразователи постоянного тока. Для питания электроннолучевых трубок осциллографов и телевизионной аппаратуры, где требуются напряжения порядка тысяч вольт при малых токах (до 1—3 *ма*), повышают постоянные напряжения ламповыми генераторами высокой частоты. Высокочастотный ламповый генератор мощностью в несколько ватт или десятков ватт питается, как обычные ламповые схемы, напряжением 250—400 *в*, а вырабатываемые им колебания высокой частоты могут достигать амплитуды в несколько киловольт. Но если даже их амплитуда оказывается недостаточно большой, то необходимое повышение напряжения может быть обеспечено высокочастотным повышающим трансформатором. Это напряжение высокой частоты затем выпрямляется, а высокочастотные пульсации сглаживаются конденсатором небольшой емкости (100—500 *пф*). Схема высокочастотного преобразователя постоянного тока приведена на фиг. 7-34. Объем высокочастотного преобразователя получается в 3—5 раз, а вес в 10—20 раз меньше равноценного сетевого выпрямителя. Это объясняется отсутствием громоздкого силового трансформатора со стальным сердечником и высоковольтных микрофарадных конденсаторов в сглаживающем фильтре. Кроме того, в телевизорах и осциллографах применение высокочастотных преобразователей создает и некоторые специфические преимущества, позволяющие порой упростить другие элементы схемы.

Расчет кенотронного выпрямителя. Ввиду очень широкого распространения кенотронных выпрямителей ниже приводится их упрощенный расчет.

Принципиальная схема наиболее часто применяемого двухполупериодного кенотронного



Фиг. 7-34. Схема высокочастотного преобразователя постоянного тока 250/3 000 *в*, 1 *ма*.

выпрямителя изображена на фиг. 7-31,*б*, а однополупериодного выпрямления — на фиг. 7-31,*а*.

Исходными данными при конструировании выпрямителя являются требуемые величины выпрямленного напряжения U_0, выпрямленного тока I_0 и допустимого коэффициента пульсации p выпрямленного напряжения на выходе фильтра. Величина p берется из табл. 7-4.

Таблица 7-4

Средние значения коэффициента пульсации p для различных каскадов

Каскады	p, %
Микрофонный усилитель	0,001
Гетеродин, смеситель, предварительный усилитель низкой частоты	0,05
Усилители высокой и промежуточной частоты	0,1
Оконечный усилитель низкой частоты	0,2
То же, двухтактный	1

Если указанные значения p почему-либо не могут быть обеспечены показанным на фиг. 7-31 фильтром, то применяют дополнительное сглаживание с помощью ячеек из сопротивлений и конденсаторов.

По заданной величине выпрямленного тока I_0 выбирают из числа имеющихся подходящий дроссель для сглаживающего фильтра.

Дроссель надо выбирать с возможно большей индуктивностью при заданном выпрямленном токе I_0 (по крайней мере, порядка 10 *гн*) и с возможно меньшим сопротивлением $R_{Др}$ постоянному току, чтобы падение напряжения на нем $I_0 R_{Др}$ составляло не более 10—15% от величины выпрямленного напряжения U_0. Дроссель фильтра должен быть с воздушным зазором, чтобы уменьшить влияние постоянного тока на величину индуктивности дросселя. Расчет зазора производится по формуле (3-57).

По величине $R_{Др}$, а также сопротивлению автоматического смещения $R_{см}$ (если оно необходимо) определяется падение напряжения в фильтре

$$U_ф = I_0 (R_{Др} + R_{см}). \quad (7\text{-}9)$$

Тогда напряжение на первом конденсаторе C_1 сглаживающего фильтра

$$U_0' = U_0 + U_ф. \quad (7\text{-}10)$$

По величине тока I_0 и напряжению на входе фильтра U_0' выбирают из табл. 7-5 подходящий тип кенотрона.

Таблица 7-5

Основные параметры кенотронов

Параметры	Кенотроны					
	5Ц4С	5Ц3С	6Ц5С	30Ц1М	30Ц6С	ВО-188
$U_н$, *в*	5	5	6,3	30	30	4
$I_н$, *а*	2	3	0,6	0,3	0,3	2
U_0, *в*	420	445	370	225	225	400
I_0, *ма*	125	250	75	90	120	150

Если сопротивление нагрузки выпрямителя $R_н = \frac{U_0}{I_0} + R_{Др} + R_{см}$ равно 10 000 *ом* и больше, то рекомендуется последовательно с каждым анодом кенотрона включать сопротивления $R_з$, как показано пунктиром на фиг. 7-31. Величина этих сопротивлений порядка 1 000 *ом*.

Действующее значение тока I_2 в повышающей обмотке трансформатора (при условии, что $R_н < 10\,000$ *ом* или при $R_н > 10\,000$ *ом* применены сопротивления $R_з$) в схеме двухполупериодного выпрямления

$$I_2 \approx 1{,}1 I_0, \quad (7\text{-}11а)$$

а в схеме однополупериодного выпрямления

$$I_2 \approx 2{,}2 I_0. \quad (7\text{-}11б)$$

Напряжение повышающей обмотки трансформатора

$$U_2 = 1{,}1 U_0. \quad (7\text{-}12)$$

При двухполупериодном выпрямлении это напряжение должна давать каждая половина повышающей обмотки.

Мощность, потребляемая повышающей обмоткой от сети,

$$P_2 = 1{,}4 I_2 U_2. \quad (7\text{-}13)$$

Емкость первого конденсатора фильтра

$$C_1 \geqslant \frac{20\,000}{R_н}. \quad (7\text{-}14)$$

Чрезмерное увеличение емкости этого конденсатора способствует повышению выпрямленного напряжения, но приводит к чрезмерному повышению импульса тока через кенотрон и сильным колебаниям величины выпрямленного напряжения при изменении нагрузки. Обычно применяют электролитический конденсатор емкостью 10—20 *мкф*. При конденсаторе $C_1 = 10$ *мкф* коэффициент пульсации напряжения на входе фильтра составляет в среднем 10—15%, поднимаясь до 20—30% в случаях малого сопротивления нагрузки $R_н$ (порядка 1 000 *ом*).

Сглаживающий фильтр. Для расчета сглаживающего фильтра целесообразно ввести коэффициент сглаживания a, который показывает, во сколько раз фильтр должен уменьшить пульсацию выпрямленного напряжения:

$$a = \frac{p'}{p}, \quad (7\text{-}15)$$

где p' — коэффициент пульсации напряжения на входе фильтра, т. е. на первом его конденсаторе, а p — заданная заранее величина пульсации выпрямленного напряжения на выходе фильтра. Тогда в схеме двухполупериодного выпрямления емкость второго конденсатора

$$C_2 \geqslant \frac{2{,}5a}{L}, \quad (7\text{-}16)$$

где L — индуктивность дросселя, *гн*.

При однополупериодном выпрямлении емкость C_2 надо увеличить в 4 раза.

Если дроссель приходится рассчитывать, то расчет его можно производить аналогично расчету первичной обмотки выходного трансформатора по формулам (4-14) — (4-17). Площадь сечения сердечника для дросселя фильтра уменьшают в 2,5—4 раза против вычисленного по формуле (4-13).

Ячейки RC для дополнительного сглаживания пульсации рассчитываются по формуле

(3-51). Если дополнительное сглаживание производится ячейками LC, то их рассчитывают по формуле (7-16).

Аналогично кенотронному выпрямителю рассчитывается и газотронный выпрямитель, но заданное постоянное (выпрямленное) напряжение надо увеличить на 15—20 *в* (учитывающих падение напряжения в газотроне) и фильтр начинать с дросселя, а не с емкости, как в кенотронном выпрямителе (чтобы не увеличивать импульсы тока через газотрон).

Пример. Рассчитать кенотронный выпрямитель по двухполупериодной схеме для радиоприемника, если напряжение на выходе фильтра выпрямителя $U_0=250$ *в*, выпрямленный ток $I_0=90$ *ма* $=0{,}09$ *а*, допустимый коэффициент пульсации $p=0{,}1\%$, напряжение автоматического сеточного смещения $U_{см}=15$ *в*, индуктивность дросселя фильтра $L=20$ *гн* и сопротивление дросселя $R_{Др}=180$ *ом*.

Сопротивление автоматического смещения

$$R_{см}=\frac{U_{см}}{I_0}+\frac{15}{0{,}09}=165\ ом;$$

тогда по формуле (7-9) падение напряжения в сглаживающем фильтре $U_ф=0{,}09\,(180+165)=31$ *в*. По формуле (7-10) напряжение на входе фильтра $U_0'=250+31\approx 280$ *в*. Выбираем кенотрон типа 5Ц4С, для которого $I_0=125$ *ма* >90 *ма* и $U_0=420$ *в* >280 *в*. Сопротивление нагрузки выпрямителя

$$R_н=\frac{U_0'}{I_0}=R_{Др}+R_{см}=\frac{280}{0{,}09}+180+165\approx 3\,450\ ом.$$

По формуле (7-11а) ток вторичной обмотки трансформатора $I_2=1{,}1\cdot 0{,}09\approx 0{,}1$ *а* и по формуле (7-12) напряжение половины вторичной обмотки $U_2=1{,}1\cdot 280=308$ *в*. Далее по формуле (7-14) емкость первого конденсатора $C_1=\frac{20\,000}{3\,450}\approx 6$ *мкф* (берем $C_1=10$ *мкф*). Приняв на входе фильтра пульсацию в 10%, определяем затем по формуле (7-15) необходимый коэффициент сглаживания фильтра $a=\frac{10}{0{,}1}=100$. Тогда по формуле (7-16) емкость второго конденсатора фильтра

$$C_2=\frac{2{,}5\cdot 100}{20}\approx 12{,}5\ мкф$$

(можно взять $C_2=10$ *мкф*).

Расчет силового трансформатора для кенотронного выпрямителя. По напряжениям и токам, которые должны обеспечивать вторичные обмотки, определяют потребляемую трансформатором из сети мощность

$$P_{Тр}=\frac{P_2+U_{н1}I_{н1}+U_{н2}I_{н2}}{\eta}, \qquad (7\text{-}17)$$

где P_2 — определяемая по формуле (7-13) мощность повышающей обмотки; $U_{н1}$, $I_{н1}$, $U_{н2}$ и $I_{н2}$ — напряжения и токи накальных обмоток и η—к. п. д. трансформатора. Для маломощных трансформаторов (на 20—200 *вт*) значение η лежит в пределах 0,75—0,85.

По величине $P_{Тр}$ определяют необходимое произведение площади сечения S_c стального сердечника на площадь $S_о$ его окна:

$$S_c S_о=1{,}5\,P_{Тр}+30. \qquad (7\text{-}18)$$

Чтобы правильно выделить из полученного произведения $S_c S_о$ значение S_c, следует иметь в виду, что площадь сечения стали не надо брать меньше, чем

$$S_c\geqslant\sqrt{P_{Тр}}. \qquad (7\text{-}19)$$

Разделив произведение $S_c S_о$ на это минимальное значение S_c, найдем наибольшую площадь окна $S_о$. По этим данным можно выбрать тип пластин (см. стр. 212). Выбрав пластины, определяют необходимую площадь сечения стали S_c и находят толщину пакета по формуле $b=1{,}1\frac{S_c}{a}$. Пластины рекомендуется выбирать так, чтобы толщина b пакета была больше ширины a центрального стержня в 1,5—2 раза.

Число витков w первичной и повышающей обмоток определится в соответствии с их напряжением U по формуле

$$w=\frac{50}{S_c}U. \qquad (7\text{-}20а)$$

Для накальных обмоток находим число витков на 1 *в*:

$$w_{1в}=\frac{54}{S_c}, \qquad (7\text{-}20б)$$

а затем, умножая $w_{1в}$ на напряжение каждой накальной обмотки, найдем число ее витков

$$w_н=w_{1в}U_н. \qquad (7\text{-}20в)$$

Диаметры проводов любой обмотки рассчитываются по формуле

$$d=1{,}13\sqrt{\frac{I}{\delta}}, \qquad (7\text{-}21)$$

где δ (плотность тока) $=2\div 3$ *а/мм*^{2}. Токи вторичных обмоток заданы, а ток первичной обмотки

$$I_1=1{,}1\frac{P_{Тр}}{U_1}, \qquad (7\text{-}22)$$

где U_1 — напряжение сети.

Пример. Рассчитать силовой трансформатор для радиоприемника, если $P_2=38$ *ва*, напряжение сети $U_1=110/220$ *в*, напряжения вторичных обмоток $U_2=2\times$

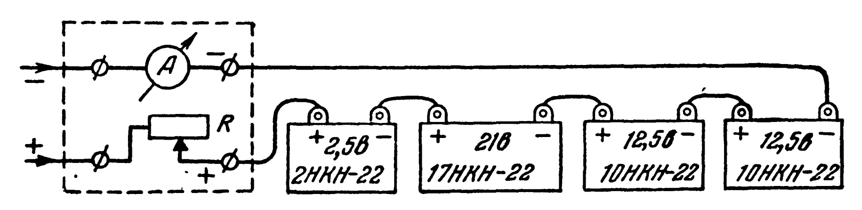
$\times 280$ *в*, $U_{н1} = 5$ *в*, $U_{н2} = 6{,}3$ *в*, токи вторичных обмоток $I_2 = 0{,}1$ *а*, $I_{н1} = 2$ *а* и $I_{н2} = 2{,}4$ *а*.

Приняв к. п. д. трансформатора $\eta = 0{,}8$, находим по формуле (7-17) мощность трансформатора

$$P_{Тр} = \frac{38 + 5 \cdot 2 + 6{,}3 \cdot 2{,}4}{0{,}8} \approx 80 \text{ ва}.$$

По формуле (7-18) определяем произведение $S_c \cdot S_o = 1{,}5 \cdot 80 + 30 = 150$ и, выбрав пластины Ш-25, для которых $S_o = 15{,}6$, находим площадь сечения стали $S_c = \frac{150}{15{,}6} \approx 10$ *см²*. Так как ширина среднего стержня пластин Ш-25 равна $a = 2{,}5$ *см*, необходимая толщина пакета определится по формуле

$$b = 1{,}1\frac{S_c}{a} = 1{,}1\frac{10}{2{,}5} = 4{,}4 \text{ см}.$$



Фиг. 7-35. Простейшая зарядная установка.

В данном случае — аккумуляторы щелочные емкостью 22 *а-ч*. Число банок 39, следовательно, напряжение заряда ≈ 70 *в* и ток заряда ≈ 5,5 *а*.

Проверяем отношение $\frac{b}{a} = \frac{4{,}4}{2{,}5} = 1{,}75 < 2$. Из формулы (7-20) число витков первичной обмотки (для напряжения 110 *в*) $w_1 = \frac{50 \cdot 110}{10} = 550$ витков. Для напряжения 220 *в* необходима еще одна такая секция, т. е. полное число витков первичной обмотки должно быть равно 550 + 550 витков. Для того чтобы уменьшить диаметр провода 110-вольтовой секции, применим при напряжении сети 110 *в* параллельное соединение обеих секций. Тогда ток в каждой секции первичной обмотки при 110 *в* будет равен половине вычисленного по формуле (7-22), т. е. $I_1 = \frac{1}{2} 1{,}1 \frac{P_{Тр}}{U_1} = \frac{1}{2} \cdot 1{,}1 \cdot \frac{80}{110} \approx 0{,}4$ *а*. При напряжении сети 220 *в* ток также равен 0,4 *а*. Диаметр провода первичной обмотки по формуле (7-21) равен $d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{0{,}4}{2}} = 0{,}5$ *мм*. Повышающая обмотка должна состоять из двух равных секций, в каждой из которых по формуле (7-20а) число витков

$$w_2 = \frac{50 \cdot 280}{10} = 1\,400,$$

а по формуле (7-21) диаметр провода

$$d_2 = 1{,}13\sqrt{\frac{0{,}1}{2}} = 0{,}25 \text{ мм}.$$

Так как по формуле (7-21б) $w_{1в} = \frac{54}{10} = 5{,}4$ витка на 1 *в*, то по формуле (7-21в) число витков первой накальной обмотки $w_{н1} = 5{,}4 \cdot 5 = 27$ витков и второй $w_{н2} = 5{,}4 \cdot 6{,}3 = 34$ витка. Диаметры проводов этих обмоток

$$d_{н1} = 1{,}13\sqrt{\frac{2}{2}} = 1{,}13 \text{ мм}$$

и

$$d_{н2} = 1{,}13\sqrt{\frac{2{,}4}{2}} = 1{,}24 \text{ мм}.$$

Зарядное устройство для аккумуляторов. Для зарядки аккумуляторов нужны специальные устройства, конструкция которых зависит от среднего числа одновременно заряжаемых аккумуляторов и от местного источника тока. При наличии сети постоянного тока простейшим из возможных устройств является показанное на фиг. 7-35. Аккумуляторы соединяют между собой последовательно и присоединяют к сети через реостат *R*, который поглощает избыточное напряжение.

Зарядное напряжение на один элемент кислотного аккумулятора надо принимать равным 2,7 *в*, а на один элемент щелочного аккумулятора — 1,8 *в*. Если напряжение сети равно 110 *в*, то наибольшее число элементов, соединенных последовательно, будет 40 кислотных или 60 щелочных. При зарядке аккумуляторов в одну последовательную цепь можно соединить лишь аккумуляторы с одинаковой номинальной емкостью $Q_{ном}$, так как ею определяется нормальный зарядный ток, равный для кислотных $I_{зк} = \frac{Q_{ном}}{10}$ и для щелочных $I_{зщ} = \frac{Q_{ном}}{4}$. Этот ток не должен превышаться.

Если предстоит заряжать различные по емкости батареи, то надо либо прибегать к схеме смешанного соединения их, рассчитанной таким образом, чтобы через каждый аккумулятор проходил соответствующий ему зарядный ток, либо образовывать несколько зарядных цепей, рассчитанных на различные токи, для чего каждая цепь должна быть снабжена самостоятельным реостатом и амперметром (фиг. 7-36).

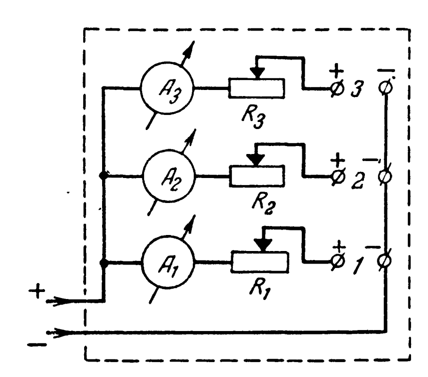
Реостаты для зарядных устройств надо выбирать, исходя из двух соображений: 1) диаметр провода реостата должен быть рассчитан на наибольший зарядный ток той цепи, в которую он включается, и 2) полное сопротивление реостата должно обеспечивать гашение излишка напряжения в течение всего заряда аккумуляторов. Как известно, в начале заряда напряжение на один элемент аккумулятора меньше, чем в конце заряда (для элемента кислотного аккумулятора оно может составлять 2,1 *в*, а щелочного — 1,4 *в*), по-

этому в начале заряда имеет место больший излишек напряжения, чем в конце.

Пример. Требуется зарядить от сети напряжением $U = 110$ *в* щелочную аккумуляторную батарею 32АКН-2,25, содержащую 32 элемента и требующую зарядный ток $I = 0{,}56$ *а*.

В начале заряда напряжение на зажимах батареи составит $1{,}4 \cdot 32 = 45$ *в*, следовательно, излишек напряжения будет равен $110 - 45 = 65$ *в*. Гасящее сопротивление $R = \frac{65}{0{,}56} = 116$ *ом*. Для этой цели можно взять реостат с наибольшим сопротивлением 120 — 150 *ом*.

Для зарядки аккумуляторов от сети переменного тока нужен выпрямитель достаточной мощности. Для этой цели применяются



Фиг. 7-36. Схема зарядного щитка на три зарядных цепи.

спаренные машинные преобразователи, ртутные и газотронные выпрямители или, чаще всего, селеновые выпрямители. Выпрямители для зарядки аккумуляторов снабжаются сглаживающим фильтром, состоящим большей частью только из одного дросселя со стальным сердечником, так как роль конденсаторов выполняют сами заряжаемые от выпрямителя аккумуляторы. Как и на постоянном токе, зарядное устройство снабжается контрольным амперметром и регулятором тока, в качестве которого вместо реостата применяется переключатель числа витков обмотки трансформатора, питающего выпрямитель (при этом повышается к. п. д. выпрямителя).

То или иное зарядное устройство обычно оборудуется при всякой радиомастерской. Особенно важно зарядное устройство для радиомастерских, расположенных в неэлектрифицированных районах. Зарядное устройство может использоваться в этом случае как для нужд самой мастерской, так и для зарядки принятых аккумуляторов. В качестве первоисточника электроэнергии может служить генератор, вращаемый бензиновым двигателем или ветродвигателем. Краткие сведения о промышленных образцах зарядных станций с бензиновыми двигателями даны в табл. 7-6.

Таблица 7-6

Основные данные зарядных станций с бензиновыми двигателями

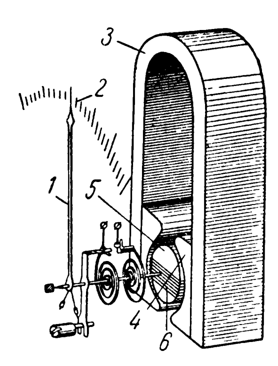
	Наименование станции		
	1,5-ЭС-3Б	1,5-ЭС-3	3,0-ЭС-3
Тип двигателя	Л-3/2	Л-3/2	Л-6/2
Тип генератора	ЗДН-1000	ЗДН-1500	ЗДН-3000
Мощность, *квт*	1	1,5	3
Количество зарядных цепей	3	3	4
Напряжения и наибольшие токи	36 *в*, 25 *а* и 120 *в*, 1,5 *а*	60 *в*, 25 *а* или 120 *в*, 12,5 *а*	60 *в*, 50 *а* или 120 *в*, 25 *а*
Вес, *кг*	195	195	300

Основные правила оборудования зарядных установок и обслуживания аккумуляторов. 1. Помещение зарядной установки должно быть отделено от мастерской, должно быть сухим и хорошо вентилируемым. 2. Необходимо остерегаться брызг и паров серной кислоты и едкого кали. 3. Приготовляя электролит, нужно лить малыми дозами серную кислоту в воду, а не наоборот. 4. Следует отделить посуду для электролита кислотных и щелочных аккумуляторов. 5. Нельзя заряжать в одном помещении одновременно кислотные и щелочные аккумуляторы. 6. Перед началом заряда надо вывернуть пробки у всех элементов. 7. Нельзя ставить под зарядку неисправные аккумуляторы. 8. Составляя зарядную цепь, надо строго соблюдать полярность всех аккумуляторов. 9. Максимальный зарядный ток в амперах для большинства кислотных радиоаккумуляторов составляет $^1/_{10}$, а для щелочных — $^1/_4$ от их емкости в ампер-часах. 10. Время заряда кислотных аккумуляторов составляет 10—12 час., а щелочных — 6—7 час. В конце заряда напряжение одного элемента кислотного аккумулятора составляет 2,75—2,8 *в*, а щелочного — 1,8 *в*. 11. По окончании заряда нужно вытереть сухой тряпкой разбрызгавшийся из банок электролит, а спустя час-два, когда окончится бурление электролита, плотно завернуть пробки и восстановить вазелиновую смазку металлических частей аккумуляторов; при этом нельзя допускать попадания вазелина на резиновые части (пробки, клапаны). 12. Не допускать повышения температуры аккумуляторов (особенно щелочных) выше 40° С (при необходимости нужно уменьшить зарядный ток). 13. Разряжать кислотный аккумулятор следует до напряжения не ниже 1,8 *в*

на элемент, а щелочной — не ниже 1,1 *в*. 14. Плотность электролита и у кислотных, и у щелочных аккумуляторов должна быть порядка 1,18 по шкале удельных весов (22° по шкале Боме). Уровень электролита над пластинами должен быть 8—10 *мм*; по мере испарения электролита элемент надлежит доливать дистиллированной водой.

6. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

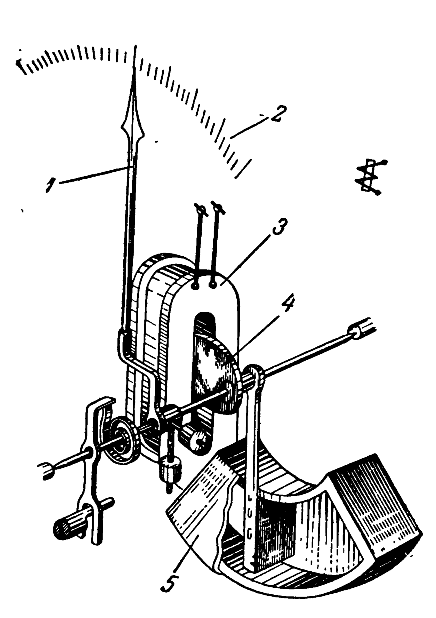
Конструкции некоторых электроизмерительных приборов. *Магнитоэлектрическая система.* Это — основной тип прибора постоянного тока, а в сочетании с соответствующими выпрямителями (купроксными или ламповыми) — и высококачественный прибор переменного тока. Магнитоэлектрический механизм состоит (фиг. 7-37) из катушки, закрепленной на оси и вращающейся в зазоре сильного подковообразного магнита. Спиральные пружины приводят катушку в нулевое положение и в то же время служат для подвода к ней тока. Когда по катушке проходит ток, то вследствие взаимодействия его с магнитным полем магнита катушка приходит во вращение и занимает вместе со скрепленной с нею движущейся по шкале стрелкой определенное положение, соответствующее равенству вращающей силы и противодействующей силы пружин. Вращающая сила нарастает прямолинейно с током, так что деления на шкале наносятся совершенно равномерно. Присоединяя к цепи прибор, надо следить за правильной полярностью соединений, так как при обратном направлении тока в катушке она вращается в обратную сторону. Это обстоятельство используется для устройства магнитоэлектрических приборов с нулем посередине шкалы.



Фиг. 7-37. Устройство магнитоэлектрического прибора и его условное обозначение.

1 — стрелка; *2* — равномерная шкала; *3* — магнит; *4* — полюсные наконечники (башмаки); *5* — неподвижный сердечник; *6* — вращающаяся катушка (рамка).

Электромагнитная система (фиг. 7-38) может работать и при постоянном и низкочастотном переменном токе. Принцип ее действия заключается в следующем. Укрепленная на оси стрелки пластина из мягкой стали (якорь) втягивается внутрь неподвижного электромагнита, по обмотке которого проходит измеряемый ток. Пластина поворачивается вместе со стрелкой, пока вращающее усилие не уравновесится противодействующей силой спиральной пружины. Шкала электромагнитного прибора неравномерна (деления вначале расположены теснее).



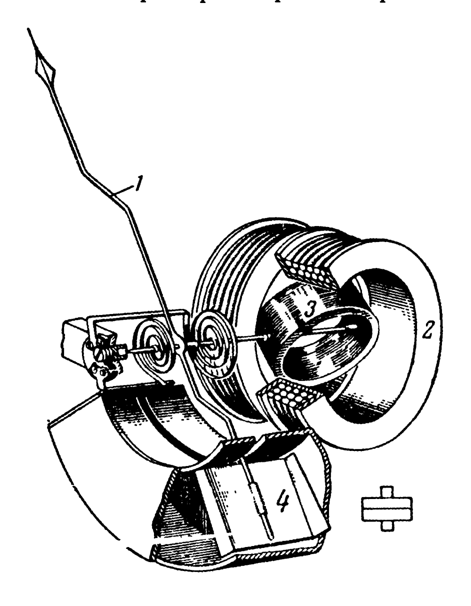
Фиг. 7-38. Устройство электромагнитного прибора и его условное обозначение.

1 — стрела; *2* — неравномерная шкала; *3* — неподвижная катушка; *4* — якорь из мягкой стали; *5* — воздушный успокоитель.

Электродинамическая система (фиг. 7-39). Приборы этого рода большей частью предназначены для измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока, т. е. служат ваттметрами. В принципе все электродинамические ваттметры основаны на взаимодействии двух электромагнитных полей, создаваемых двумя катушками, к одной из которых (подвижной) прикреплена стрелка. По одной катушке проходит ток, а к другой подведено напряжение, и стрелка отклоняется соответственно мощности, зависящей как от тока, так и от напряжения.

Тепловой измерительный прибор (фиг. 7-40). Действие теплового прибора основано на тепловом расширении платиноиридиевой проволоки, по которой проходит измеряемый ток. Так как тепловое действие тока не зависит от его частоты, то эти приборы удобны при высокочастотных измерениях. Тепловые приборы конструируются лишь на относительно большие токи, которые вызывают достаточное для удлинения проволочки тепловое действие.

Поэтому они применяются только в качестве амперметров; как вольтметры такие приборы неэкономичны и не могут идти в сравнение со снабженными купроксами или термоэлементами магнитоэлектрическими приборами. Шкала теплового прибора неравномерная.



Фиг. 7-39. Устройство электродинамического прибора и его условное обозначение.

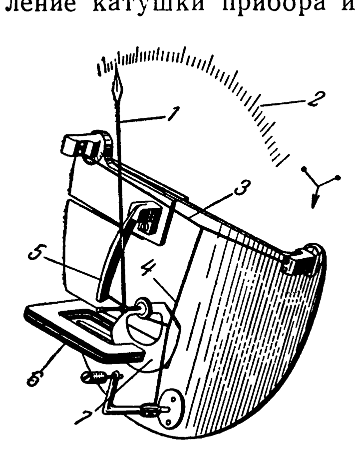
1 — стрелка; 2 — неподвижная катушка; 3 — вращающаяся катушка; 4 — воздушный успокоитель.

Измерительные системы снабжаются приспособлением (успокоителем), устанавливающим стрелку без качаний на определенном делении шкалы. Для этого на оси подвижной системы крепится пластинка, которая перемещается в воздушной камере. Магнитоэлектрический прибор не нуждается в таком успокоительном устройстве, так как его катушка намотана на алюминиевой рамке, в которой при ее вращении в магнитном поле магнита возникают тормозящие вихревые токи. Успокоение с помощью вихревых токов применяется и в других приборах, так как оно не увеличивает механического трения измерительной системы.

Схемы включения электроизмерительных приборов и их налаживание. *Схема амперметра.* Амперметром называется прибор для измерения тока. Понятно, что для этого он должен включаться в разрыв цепи измеряемого тока, т. е. вводиться в цепь последовательно. Если необходимо измерять токи бо́льшие, чем те, на которые рассчитан прибор, то он должен шунтироваться соответствующим сопротивлением, с тем чтобы принять на себя часть измеряемого тока (фиг. 7-41). Расчет сопротивления шунта производится по формуле

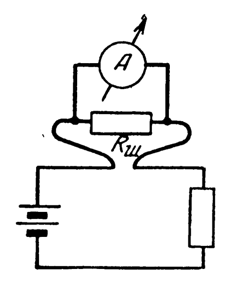
$$R_ш = \frac{r}{n-1}, \quad (7\text{-}23)$$

где $R_ш$ — сопротивление шунта; r — сопротивление катушки прибора и n — число, показывающее, во сколько раз надо увеличить пределы измерения.



Фиг. 7-40. Устройство теплового прибора и его условное обозначение.

1 — стрелка; 2 — неравномерная шкала; 3 — платиноиридиевая нить; 4 — вспомогательная нить; 5 - пружина; 6 — успокаивающий магнит; 7 — алюминиевая пластинка, в которой возникают тормозящие токи.



Фиг. 7-41. Включение амперметра с шунтом.

Шунт не должен нагреваться проходящим по нему током.

Пример. Имеется миллиамперметр со шкалой 5 *ма*=0,005 *а*. Сопротивление его рамки r=100 *ом*. Этот прибор надо приспособить для измерения тока до 1 *а*, т. е. расширить пределы измерения в

$$\frac{1}{0{,}005} = 200 \text{ раз.}$$

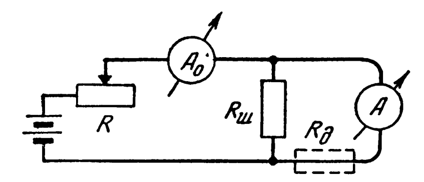
По формуле (7-23) сопротивление шунта

$$R_ш = \frac{100}{200-1} \approx 0{,}5 \text{ ом.}$$

Обычно не удается так точно рассчитать и изготовить шунт, чтобы сразу же получить необходимую пропорциональность между новой и прежней шкалами. Поэтому после расчета шунта его подгоняют к прибору. Для этого составляют цепь низкого напряжения (1—6 *в*), в которую последовательно с подгоняемым шунтом включают достаточно точный другой амперметр (образцовый) с такими же или несколько бо́льшими пределами измерения, чем налаживаемый, и реостат для регулирования тока (фиг. 7-42). Сначала в цепь вводится все сопротивление реостата, к шунту присоединяется переделываемый прибор и включается напряжение. Затем, плавно уменьшая сопротивление реостата, увеличивают ток в цепи

до тех пор, пока образцовый прибор не покажет значение тока, на которое переделывается прибор. Если стрелка налаживаемого прибора уходит за шкалу при меньшем токе, то изготовленный шунт надо несколько укоротить. Если же стрелка не доходит до конца шкалы на несколько делений, то шунт можно слегка сточить надфилем, причем это надо делать не в одном месте, а по возможности по всей длине шунта.

Наращивать шунты не следует. Поэтому, если шунт изготовляется из длинного куска



Фиг. 7-42. Схема для подгонки шунта.
A_o — образцовый амперметр; A — прибор, к которому подбирается шунт $R_ш$; R — регулировочное сопротивление (реостат); $R_д$ — добавочное сопротивление.

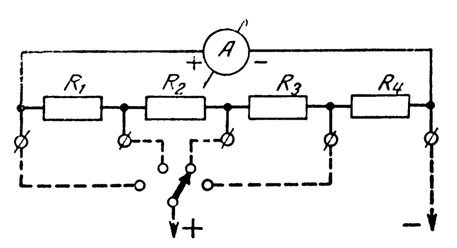
провода, диаметр которого не удобно уменьшать, то надо его изготовить несколько больше расчетной длины и затем подгонять только укорачиванием. Короткие шунты больших сечений нужно заготовлять с несколько большим расчетным сечением и затем стачивать его.

При всяком укорачивании или стачивании шунта надо выключать напряжение, так как случайно оставленный в цепи без шунта прибор может сразу же сгореть. При каждом включении напряжения надо восстановить реостатом требуемый ток по образцовому амперметру.

Применяется и другой способ подгонки шкалы амперметров, состоящий в том, что вместо подгонки шунта подгоняют небольшое дополнительное сопротивление, через которое прибор присоединяется к шунту (на фиг. 7-42 это сопротивление показано штриховой линией). Шунт должен иметь сопротивление на 10—20% больше расчетного, а добавочное сопротивление (порядка 0,2 сопротивления рамки прибора) подбирается опытным путем при подгонке шкалы. Такой способ подгонки шкалы амперметра имеет тот недостаток, что падение напряжения на амперметре с добавочным сопротивлением получается несколько бо́льшим, чем при его отсутствии, поэтому амперметры, предназначенные для измерения в цепях низкого напряжения, снабжать добавочными сопротивлениями невыгодно.

Шунт нужно включать непосредственно в цепь тока, а прибор — параллельно ему, как это показано на фиг. 7-41, а не наоборот, чтобы в случае ненадлежащего контакта шунта с прибором последний не сгорел.

Для возможности измерять различные токи прибегают к устройству сменных шунтов (каждый из которых дает свои пределы измерений) или к одному универсальному шунту. Схема последнего представлена на фиг. 7-43. Расчет



Фиг. 7-43. Прибор с универсальным шунтом.

универсального шунта производится по формулам:

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{r}{n_1 - 1}; \quad (7\text{-}24)$$

$$R_1 = R_0 - \frac{r + R_0}{n_2}; \quad (7\text{-}25)$$

$$R_2 = R_0 - R_1 - \frac{r + R_0}{n_3}; \quad (7\text{-}26)$$

$$R_3 = R_0 - R_1 - R_2 - \frac{r + R_0}{n_4}; \quad (7\text{-}27)$$

$$R_4 = R_0 - R_1 - R_2 - R_3. \quad (7\text{-}28)$$

Здесь R_1, R_2, R_3 и R_4 — сопротивления частей шунта согласно схеме фиг. 7-43, r — сопротивление рамки прибора и n_1, n_2, n_3 и n_4 — соответственно коэффициенты расширения пределов измерения на 1-м, 2-м, 3-м и 4-м зажимах по отношению к току, потребляемому прибором.

Начинать подгонку такого шунта надо с наименьшей шкалы, т. е. с сопротивления R_1. После подгонки следующей шкалы (сопротивления R_2) может возникнуть необходимость вновь вернуться к сопротивлению R_1 и т. д.

Пример. Прибор с сопротивлением рамки $r = 100$ *ом* дает отклонение стрелки на всю шкалу при токе 1 *ма*. Рассчитать универсальный шунт для пределов измерения 3, 15, 60 и 300 *ма*.

$$n_1 = \frac{3}{1} = 3; \qquad R_0 = \frac{100}{3-1} = 50 \text{ ом};$$

$$n_2 = \frac{15}{1} = 15; \qquad R_1 = 50 - \frac{100 + 50}{15} = 40 \text{ ом};$$

$$n_3 = \frac{60}{1} = 60; \qquad R_2 = 50 - 40 - \frac{50 + 100}{60} = 7{,}5 \text{ ом};$$

$$n_4 = \frac{300}{1} = 300; \qquad R_3 = 50 - 40 - 7{,}5 - \frac{50 + 100}{300} = 2 \text{ ом};$$

$$R_4 = 50 - 40 - 7{,}5 - 2 = 0{,}5 \text{ ом}.$$

Замечание. При расчете универсального шунта все вычисления надо производить, по крайней мере, с точностью до 4-го знака, так как пользование округленными числами приводит к большой погрешности при определении сопротивления R_4.

При измерении тока следует иметь в виду, что на всяком введенном в цепь амперметре происходит некоторое падение напряжения. В некоторых случаях (например, в цепях накала) это падение напряжения не дает возможности точно измерить ток. Поэтому при выборе прибора для схемы амперметра надо следить, чтобы произведение необходимого для него тока на сопротивление его рамки не превышало 100—200 *мв*.

Схема вольтметра. Поскольку измерение напряжения состоит в определении разности потенциалов на каком-либо участке цепи или между двумя полюсами источника тока, то понятно, что предназначенный для этой цели вольтметр должен присоединяться параллельно этому участку цепи или источнику тока. Большинство приборов для использования их в качестве вольтметров требует включения добавочных сопротивлений. Если ток, вызывающий полное отклонение стрелки прибора, равен I, а сопротивление самого прибора r, то величина добавочного сопротивления для шкалы с максимальным напряжением U определяется по формуле

$$R_д = \frac{U}{I} - r. \qquad (7\text{-}29а)$$

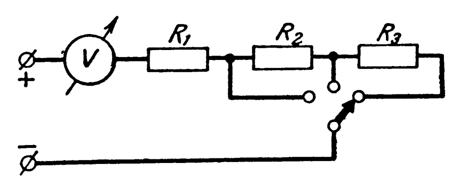
Если требуется расширить пределы измерения вольтметра, уже имеющего добавочное сопротивление, то при полном его сопротивлении (между зажимами), равном R, дополнительное добавочное сопротивление находится по формуле

$$R_д = R(n-1), \qquad (7\text{-}29б)$$

где n — коэффициент расширения шкалы.

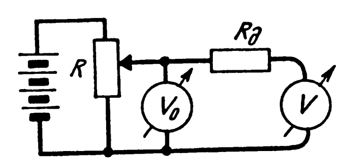
Пример. Вольтметр на напряжение 6 *в* обладает сопротивлением 500 *ом*. Для измерения им напряжения до 300 *в* необходимо дополнительное добавочное сопротивление $R_д = 500(50-1) = 24\,500$ *ом*, поскольку $n = \frac{300}{6} = 50$. Чтобы у этого же вольтметра получить шкалу на 3 *в* $\left(n = \frac{3}{6} = 0{,}5\right)$, необходимо $R_д = 500 \times (0{,}5 - 1) = -250$ *ом*, т. е. надо уменьшить имеющееся в вольтметре добавочное сопротивление на 250 *ом*.

Вольтметры, приспосабливаемые для измерений в нескольких пределах, собирают по схеме фиг. 7-44, так что добавочные сопротивления меньших шкал остаются включенными и при измерениях на следующих шкалах; тогда для получения шкалы на более высокое напряжение достаточно изготовить лишь дополнительное добавочное сопротивление. При этом первое добавочное сопротивление R_1 рассчитывается по формуле (7-29а), а каждое последующее — по формуле (7-29б), в которую в качестве R подставляется полное сопротивление вольтметра на предыдущей шкале, а n вычисляется по отношению к той же предыдущей шкале.



Фиг. 7-44. Многошкальный вольтметр.
U — измеряемое напряжение.

Пример. Прибор обладает сопротивлением $r = 300$ *ом* и для полного отклонения стрелки требует тока $I = 0{,}5$ *ма* $= 0{,}0005$ *а*. Рассчитать добавочные сопротивления для работы прибора в качестве вольтметра на пределы 6, 30 и 150 *в*. $R_1 = \frac{6}{0{,}0005} - 300 = 11\,700$ *ом*. Для шкалы на 30 *в* получаем $n = \frac{30}{6} = 5$ и $R = r + R_1 = 300 + 11\,700 = 12\,000$ *ом*, следовательно, дополнительное добавочное сопротивление $R_2 = 12\,000(5-1) = 48\,000$ *ом*. Для шкалы на 150 *в* получаем $n = \frac{150}{30} = 5$ и $R = r + R_1 + R_2 = 300 + 11\,700 + 48\,000 = 60\,000$ *ом*, следовательно, $R_3 = 60\,000(5-1) = 240\,000$ *ом*.



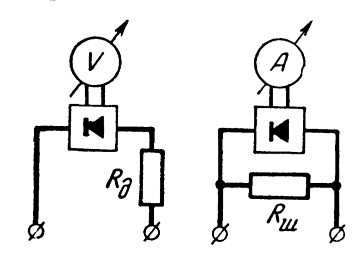
Фиг. 7-45. Схема для подгонки добавочного сопротивления.
V_0 — образцовый вольтметр; V — прибор, к которому подбирается добавочное сопротивление $R_д$.

При выборе добавочных сопротивлений следует отдавать предпочтение манганиновым проволочным сопротивлениям (из соображения стабильности их значений), а также проверять пригодность их по допустимой нагрузке током или мощностью (см. стр. 37—38).

Добавочные сопротивления, как и шунты, приходится подгонять практически, для чего составляется схема по фиг. 7-45. Не слишком большие проволочные добавочные сопротивления (до 10—20 *ком*) целесообразно изготовлять несколько больше расчетных значений, с тем чтобы в процессе подгонки их приходилось только сматывать. Большие добавочные сопротивления, как проволочные, так и не проволочные, лучше составлять из двух: одно на 5% меньше расчетной величины, а по-

следовательно, ему включить другое небольшое сопротивление, подбором которого и осуществлять точную установку шкалы. Сначала подгоняется сопротивление первой шкалы (R_1), отрегулировав ее переходят к подгонке следующей шкалы (сопротивлением R_2) и т. д.

Если вольтметр недостаточно чувствителен и потребляет значительный ток, то им производить измерения в высокоомных цепях нельзя, так как присоединение его к таким цепям

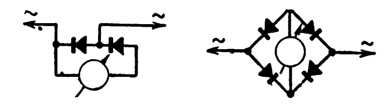


Фиг. 7-46. Подключение выпрямляющих устройств к измерительным приборам.

нарушает их нормальный режим; поэтому при выборе прибора для схемы вольтметра надо исходить из величины потребляемого им тока. Если для измерения в цепях накала можно применять вольтметры, потребляющие ток в несколько десятков миллиампер, то для анодных цепей допустимы вольтметры, потребляющие ток лишь до 1 *ма*, для цепей экранных сеток до 0,2—0,5 *ма*, а для измерений в цепях управляющих сеток обычные вольтметры оказываются вообще мало пригодными. Для уменьшения влияния вольтметра на исследуемую высокоомную цепь измерения можно производить на больших шкалах, используя в качестве рабочего участка шкалы лишь начало ее, хотя в этом случае и уменьшается точность измерения и отсчета.

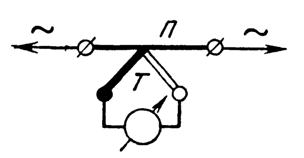
Часто чувствительность вольтметра характеризуют сопротивлением на 1 *в*, т. е. величиной, обратной потребляемому прибором току. Так, например, прибор, у которого полное отклонение стрелки получается при токе 5 *ма* (0,005 *а*), обладает чувствительностью в 200 *ом* на вольт, так как $\frac{1}{0,005} = 200$. Для измерений в радиоаппаратуре наиболее подходящими являются вольтметры, имеющие более 2 000—3000 *ом/в*.

Схемы переменного тока. Системы, работающие от переменного тока без дополнительных приспособлений (тепловая, электромагнитная), включаются для измерений переменных токов и напряжений по таким же схемам, как приборы постоянного тока. Что же касается приборов магнитоэлектрической системы, то переменный ток они способны измерять лишь в сочетании со специальными выпрямителями; при этом линейность их шкалы нарушается (в начале шкала сужается, а в конце расширяется), и в зависимости от схемы выпрямляющего приспособления в большей или


Фиг. 7-47. Купроксные выпрямители.

меньшей мере ухудшается чувствительность прибора, так что в общем случае для получения прежних пределов нужны другие шунты и добавочные сопротивления.

Выпрямляющее приспособление, каким бы оно ни было, присоединяется непосредственно к прибору (фиг. 7-46), с тем чтобы облегчить режим работы выпрямителя. Тогда расчет шунтов ($R_ш$) и добавочных сопротивлений ($R_д$) производится по прежним формулам, но в качестве величин r и I надо подставлять сопротивление и ток, имеющие место в цепи переменного тока еще до выпрямителя при полном отклонении стрелки прибора.



Фиг. 7-48. Термоэлемент.

Купроксные выпрямители находят самое широкое применение для измерений в цепях переменного тока не слишком высоких частот (до 600—1 000 *кгц*). Наиболее распространенные схемы включения их представлены на фиг. 7-47: первая из них (левая) меньше всего нарушает равномерность шкалы, а вторая (правая) обладает наибольшей чувствительностью. По таким же схемам включаются селеновые шайбы малых диаметров, успешно применяемые в качестве выпрямителей к низкочастотным измерительным приборам. В качестве вентилей, работающих на самых высоких частотах (сотни мегагерц), применяют кремниевые и германиевые диоды.

Сглаживающие устройства, хотя и повышают чувствительность приборов, но применяются крайне редко (только в приборах, работающих на фиксированной частоте), так как наличие реактивных сопротивлений в них ставит точность измерения в зависимость от частоты.

Термоэлемент, представляющий совокупность термопары T и подогревателя $П$ (фиг. 7-48), применяется для измерения, в основном, токов высокой частоты. Измеряемый ток,

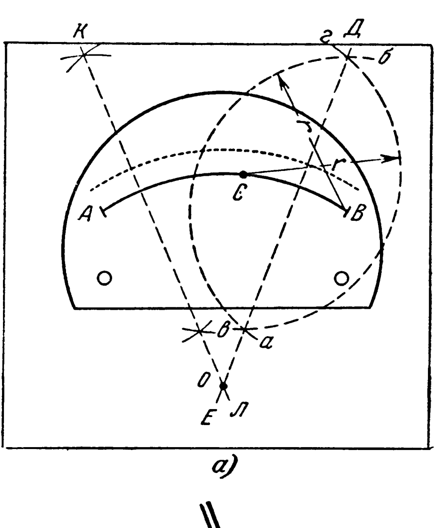
проходя по тонкой проволоке подогревателя, нагревает ее и место сварки подогревателя с термопарой, состоящей из двух разнородных проволок. Возникающая при этом на концах термоэлемента э. д. с. измеряется магнитоэлектрическим прибором, рамка которого должна обладать малым сопротивлением, так как термо-э. д. с. не превышает 10—20 *мв*. Термопару обычно составляют манганин—константан или платина—платиноиридий. Ток подогрева (измеряемый ток) для различных термоэлементов колеблется в пределах от 5 *ма* до 10 *а*. Термоэлементы выпускаются как открытые, так и вакуумные. Последние отличаются меньшей зависимостью показаний от внешней температуры и большей чувствительностью.

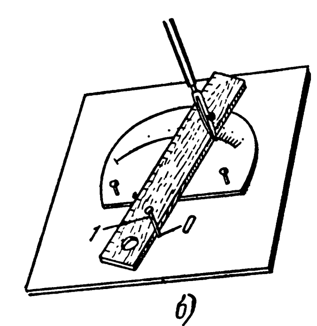
Термоэлементы пригодны для измерения токов до частот в сотни мегагерц.

Градуировка электроизмерительных приборов и изготовление шкал. При переделке измерительных приборов, особенно при изготовлении схем для измерений в цепях переменного тока, перед радиомастером часто встает задача изготовления новой шкалы, т. е. градуирования прибора. Для этого собирается схема, аналогичная схеме подгонки шунта или добавочного сопротивления по образцовому прибору (фиг. 7-42 или 7-45). Образцовый прибор должен обладать такими же или несколько бо́льшими пределами измерения и принадлежать к более высокому классу точности, чем градуируемый. Источник тока выбирается в соответствии с величиной и родом измеряемого тока; реостат или потенциометр должен обеспечивать плавное изменение тока или напряжения в пределах всей шкалы градуируемого прибора.

Прежде чем приступить к градуировке, старую шкалу прибора заклеивают листиком плотной белой бумаги, на которой наносят тушью дугу такого же радиуса и длины, как у старой шкалы. Проверив, что при отсутствии тока стрелки обоих приборов (градуируемого и образцового) стоят точно у начала шкал (на нуле), включают ток и, устанавливая реостатом по образцовому прибору те токи или напряжения, для которых желательно иметь деления на шкале градуируемого прибора, аккуратно наносят карандашом точки в местах, против которых останавливается конец стрелки градуируемого прибора. По окончании этого процесса шкалу с намеченными точками снимают, укрепляют булавками на листке картона и отыскивают на нем центр окружности, частью которой является дуга шкалы (фиг. 7-49,*а*). В найденный центр вкладывают булавку и, прижав к ней бортик линейки, проводят рейсфедером штрихи через намеченные на шкале точки (фиг. 7-49,*б*).

Если требуется изготовить несколько одинаковых шкал, прибегают к фотокопии. Для этого первую шкалу выполняют описанным выше способом, только не на плотной бумаге,





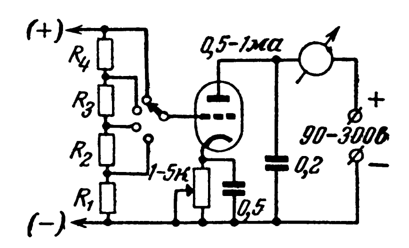
Фиг. 7-49. Изготовление шкал.

а — определение центра шкалы $\left(r \approx \frac{2}{3}\right.$ радиуса шкалы, центр дуги *аб* — в точке *В* шкалы *АВ*, центр дуги *вг* — в произвольной точке *С* на шкале *АВ*, *ДЕ* — прямая, проходящая через точки пересечения дуг *аб* и *вг*; аналогично строится прямая *КЛ*, пересечение прямых *ДЕ* и *КЛ* определяет центр *О* шкалы) *б* — нанесение штрихов тушью (*О* — центр шкалы, *1* — булавка)

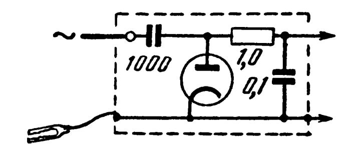
а на восковке. Этот образец шкалы отпечатывают на особо контрастной фотобумаге («Газлихт»), обратив к эмульсии лицевую сторону шкалы (образец и фотобумагу при этом плотно зажимают между двумя стеклами). После проявления этого отпечатка получают негатив шкалы, с которого затем вторичным перепечатыванием получают фотокопии шкалы. При вторичном перепечатывании негатив следует прижимать к фотобумаге опять лицевой стороной, т. е. эмульсией к эмульсии.

Радиоизмерительная и испытательная аппаратура. Радиоизмерения представляют весьма обширную самостоятельную отрасль радио-

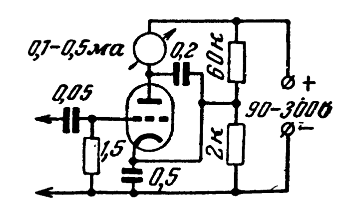
техники, систематическое изложение которой в рамках настоящей книги невозможно. В большинстве случаев радиомастеру приходится сталкиваться лишь с вопросами эксплуатации радиоизмерительной аппаратуры, которая в большинстве своем представляет сочетание электроизмерительных приборов с различными радиосхемами, использующими изложенные в предыдущих главах принципы. При наличии достаточной ориентировки в электро-



Фиг. 7-50. Ламповый вольтметр постоянного тока.



Фиг. 7-51. Приставки к вольтметру постоянного тока для измерения напряжения переменного тока.



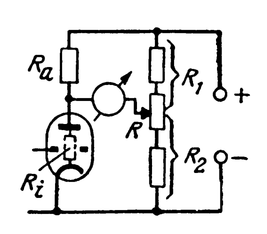
Фиг. 7-52. Вольтметр с анодным детектированием.

измерительных приборах и радиоаппаратуре радиомастер сможет легко разобраться в работе радиоизмерительного прибора, а при необходимости и отремонтировать его.

Ламповый вольтметр представляет собой сочетание электроизмерительного прибора (обычно магнитоэлектрической системы высокой чувствительности) с электронной лампой, приспособленное для измерения напряжений. При надлежащей конструкции входных цепей, сводящей к минимуму их емкость, ламповые вольтметры пригодны и для измерений высокочастотных напряжений в высокоомных сеточных цепях.

Простейшая схема лампового вольтметра постоянного тока, где трехэлектродная лампа служит для усиления измеряемого тока, представлена на фиг. 7-50. Переход с одной шкалы на другую осуществляется обычно с помощью высокоомного ($R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 15 \div 100$ *мгом*) делителя напряжения на входе. Это — прекрасный прибор для измерения постоянных напряжений на электродах ламп.

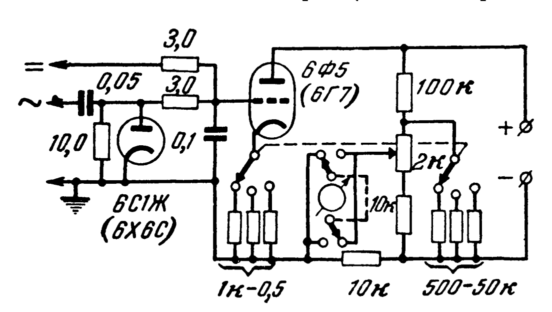
Ламповый вольтметр переменного тока должен прежде всего обеспечить выпрямление измеряемого тока, что обычно выполняется отдельной лампой, большей частью диодом (фиг. 7-51). Сам вольтметр с усилителем может быть собран по прежней схеме. Вынесение выпрямительной лампы из прибора в виде щупа позволяет свести емкость входных цепей прибора к минимуму и расширить диапазон измеряемых частот до десятков мегагерц. Ламповый вольтметр переменного тока может быть собран и на одной трехэлектродной лампе, которая тогда ставится в режим анодного детектирования и одновременно выпрямляет и усиливает измеряемый ток (фиг. 7-52). Хотя входная емкость такого вольтметра будет больше, чем в схеме фиг. 7-51, но при необходимости установить вольтметр внутри какого-либо радиоаппарата, где соединительные проводники лампы могут быть сделаны короткими, проще применить последнюю схему.



Фиг. 7-53. Компенсация тока покоя вольтметра.

Недостаток схем фиг. 7-50 и 7-52 состоит в том, что через прибор все время проходит ток покоя, определяемый выбором рабочей точки лампы, и нуль вольтметра не совпадает с нулем шкалы прибора. Поэтому обычно предпочитают прибор включать по схеме фиг. 7-53, где в качестве анодной нагрузки лампы включается сопротивление R_a, а прибор присоединяют одним полюсом к аноду лампы, а другим к делителю $R_1 R_2$, делящему напряжение в том же отношении, что и цепь $R_a R_i$ при отсутствии напряжения на сетке лампы. Тогда образуется схема моста, который при отсутствии измеряемого напряжения сбалансирован и через прибор ток покоя не идет (точное балансирование моста, т. е. установка стрелки прибора на нуль, осуществляется потенциометром R). Когда же к сетке лампы прикладывается измеряемое напряжение, ее внутреннее сопротивление R_i уменьшается и нарушает баланс моста, в результате чего стрелка прибора отклоняется.

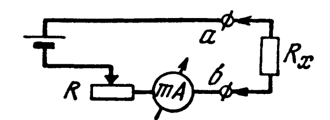
Шкала лампового вольтметра получается неравномерной, но ее можно выравнить, применяя в его усилительном каскаде глубокую отрицательную обратную связь, которая одновременно увеличивает и входное сопротивление вольтметра. Пример схемы многошкального лампового вольтметра (для измерения и



Фиг. 7-54. Переключение шкал вольтметра изменением отрицательной обратной связи.

постоянного, и переменного напряжений), основанного на изменении степени отрицательной обратной связи, представлен на фиг. 7-54.

Омметры служат для измерения сопротивления постоянному току. Всякий омметр состоит из источника постоянного тока, электроизмерительного прибора (чаще всего магнитоэлектрического) и вспомогательных деталей, составляющих его схему. Принцип работы омметра ясен из фиг. 7-55. Реостат R позволяет при замкнутых накоротко зажимах *аб*



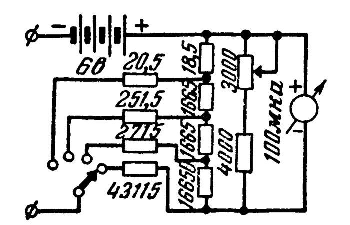
Фиг. 7-55. Принцип построения омметра.

установить в цепи такой ток, чтобы стрелка прибора отклонилась до конца шкалы, где у омметра ставится нуль. При присоединении же к зажимам *аб* измеряемого сопротивления R_x установленный первоначально ток уменьшается и стрелка прибора отходит от конца шкалы. Так как отклонение стрелки зависит от величины R_x, то шкалу прибора можно отградуировать непосредственно в омах. Для изменения пределов измерения омметра при переходе от одной шкалы к другой изменяют либо напряжение источника тока, либо чувствительность прибора (сменой шунтов).

Особого внимания заслуживает д е к а д н ы й о м м е т р, у которого градуируется и наносится только одна шкала, а в соответствии с положением переключателя показания прибора умножаются на 10, 100, 1 000 и т. д.

Одна из схем декадного омметра с прибором на 0,1 *ма* (сопротивление рамки 1 200 *ом*) изображена на фиг. 7-56. Источниками питания этого омметра служат один сухой элемент типа ФБС и одна батарейка типа КБС.

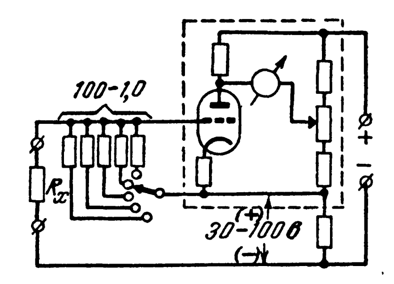
Применяются также л а м п о в ы е о м м е т р ы, схема одного из которых представлена на фиг. 7-57. Из этой схемы видно, что в зависимости от величины измеряемого сопро-



Фиг. 7-56. Декадный омметр с пределами измерений 1 *ом*—1 *мгом*.

тивления на вход электронного вольтметра подается из анодной цепи большее или меньшее напряжение, так что шкалу прибора можно отградуировать в омах. Простота преобразования лампового вольтметра в омметр привела к тому, что в последнее время ламповые вольтметры часто выпускаются с переключением на измерение сопротивлений.

Особое положение среди приборов, предназначенных для измерения сопротивления, занимает м е г о м м е т р. В принципе он ничем

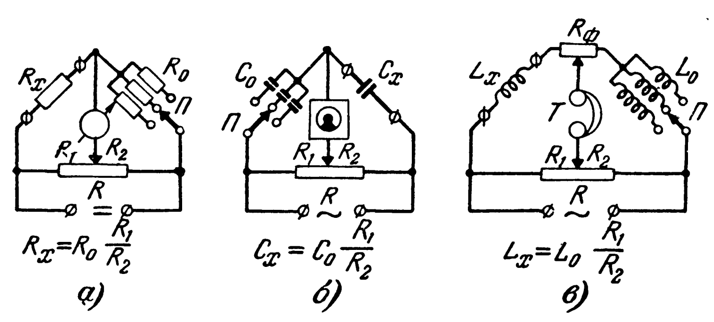


Фиг. 7-57. Ламповый омметр, полученный из лампового вольтметра.

не отличается от простейшего омметра, изображенного на фиг. 7-55, но в качестве источника тока в нем применяется небольшой ручной генератор высокого напряжения (от 500 до 1 500 *в*), что позволяет испытывать сопротивление изоляции под высоким напряжением.

Измерительные мосты представляют собой наиболее точные приборы для измерения сопротивлений, индуктивностей, емкостей, коэффициентов трансформации, усилений и для многих других видов измерений. Принцип действия моста был описан на стр. 36.

Мосты для измерения сопротивлений питаются постоянным током и индикатором в них служат магнитоэлектрические приборы с нулем посередине шкалы. Мосты емкостей и индуктивностей питаются переменным током, который обычно создается зуммером или специальным низкочастотным генератором, входящим в комплект моста. Индикатором в них служит головной телефон, позволяющий отметить момент баланса моста по минимуму слы-



Фиг. 7-58. Измерительные мосты.
а — сопротивлений; *б* — емкостей; *в* — индуктивностей.

шимости, или электронно-оптический индикатор, описанный на стр. 97.

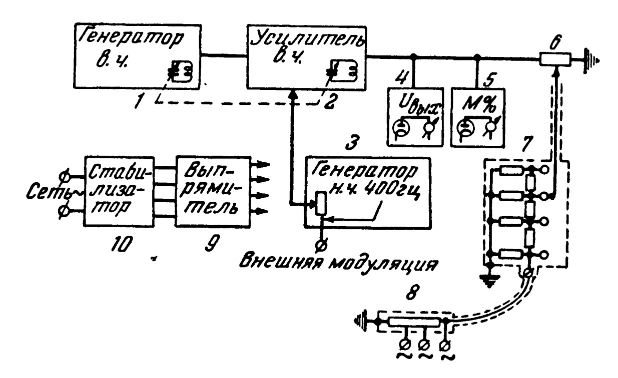
Упрощенные схемы мостов *R*, *C* и *L* представлены на фиг. 7-58. При измерении емкости и особенно индуктивности для получения острого минимума необходимо сбалансировать не только емкости и индуктивности, но и их активные сопротивления. Для этого в схему моста *L* вводится потенциометр $R_ф$, Сначала минимума звука в телефоне *Т* добиваются установкой переключателя диапазона измерений *П*, а затем установкой плавного регулятора баланса *R*. После этого переходят к регулированию потенциометром $R_ф$ фазы и, продолжая одновременно оперировать ручками $R_ф$ и *R* около найденных минимальных положений, добиваются по возможности полного прекращения слышимости в телефонах. Величины измеряемых индуктивности, емкости и сопротивления находят по указанным на чертежах формулам. Величина $\frac{R_1}{R_2}$ читается на шкале ручки *R* моста.

Мост сопротивлений может питаться и переменным током низкой частоты. Тогда в качестве индикатора лучше вместо прибора применять телефон.

В более совершенных измерительных мостах *C* и *L* регуляторы фазы $R_ф$ снабжены шкалами, по которым одновременно можно судить и о добротности испытанной катушки или $\operatorname{tg}\delta$ конденсатора. Указания по этому поводу даются в инструкциях, прилагаемых к каждому мосту.

Генератор стандартных сигналов является важнейшим прибором для налаживания и испытания радиоприемников. Он представляет собой устройство, вырабатывающее высокочастотные колебания (сигналы), частоту, амплитуду и глубину модуляции[1] которых можно не только в широких пределах изменять, но и с большой точностью беспрестанно контролировать. Генераторы стандартных сигналов отличаются высоким постоянством генерируемого сигнала, для чего применяются специальные меры, стабилизирующие работу генератора.

Типичным прибором подобного рода является генератор стандартных сигналов ГСС-6, блок-схема которого изображена на фиг. 7-59. Задающий генератор *1* генерирует высокочастотные сигналы, частоту которых в соответствии с настройкой колебательного контура можно плавно изменять в пределах от 100 *кгц* до 25 *мггц* (3 000—12 *м*). Частота сигнала устанавливается переключателем диапазонов, сменяющим контурные катушки, и конденсатором переменной емкости, ручка которого снабжена верньером и визиром, передвигающимся по точно отградуированной шкале частот.



Фиг. 7-59. Блок-схема генератора стандартных сигналов ГСС-6.

От задающего генератора высокочастотный сигнал поступает на буферный каскад усиления *2*, который выполняет несколько функций. Во-первых, он устраняет обратное влияние выходных цепей на задающий генератор и этим

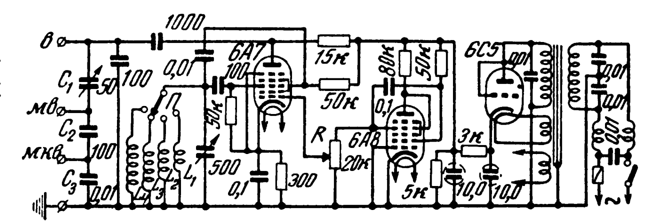
[1] Модуляция—управление колебаниями. Амплитудная модуляция — управление (изменение) амплитудой высокочастотных колебаний колебаниями низкой частоты. Глубина модуляции—степень изменения амплитуды высокочастотных колебаний. Частотная модуляция—изменение частоты высокочастотных колебаний в такт изменениям колебаний низкой частоты.

содействует повышению стабильности работы последнего. Во-вторых, так как буферный усилитель работает по схеме резонансного усиления (в анодной цепи его включен колебательный контур, настраивающийся одновременно с контуром задающего генератора), то это способствует отфильтровыванию высших гармоник из созданного задающим генератором сигнала. В-третьих, в буферном усилителе осуществляется модуляция высокочастотного сигнала колебаниями низкой частоты (400 *гц*), получаемыми от местного генератора *3* или от внешнего источника, присоединенного к соответствующим зажимам. Кроме того, регулированием усиления, даваемого буферным каскадом, сигнал на выходе его $U_{вых}$ приводят к стандартному уровню в 1 *в*, который контролируют с помощью диодного вольтметра *4*. Глубина модуляции M% выходного сигнала измеряется с помощью специальной схемы *5*, носящей название м о д у л о м е т р а. Она изменяется потенциометром, регулирующим поступающее на буферный каскад напряжение низкой частоты.

Для изменения амплитуды стандартного сигнала в пределах от десятых долей микровольт до 1 *в* на выходе генератора устроены два аттенюатора *6* и *7* и делитель *8*. Плавный аттенюатор *6* выполнен в виде весьма точного низкоомного потенциометра, позволяющего плавно изменять амплитуду сигнала в пределах отношения 1 : 10 и снабженного соответствующей шкалой. Ступенчатый аттенюатор *7* представляет собой делитель напряжения с переключателем, уменьшающим амплитуду сигнала в 10, 100, 1 000 или 10 000 раз. Делитель *8*, включенный на конце выходного кабеля, позволяет получать сигнал, ослабленный еще в 10 или 100 раз. Все выходные цепи (аттенюаторы, сопротивления, монтажные провода, выходной кабель) полностью экранированы и имеют конструкцию, которая, во-первых, предотвращает возможность просачивания сигналов большой амплитуды по ложным путям и, во-вторых, обеспечивает высокое постоянство работы регуляторов амплитуды во всем диапазоне рабочих частот.

Питание генератора стандартных сигналов ГСС-6 осуществляется от сети переменного тока напряжением 120 или 220 *в* через выпрямитель *9*. Благодаря применению стабилизатора *10* обеспечена достаточная стабильность всех питающих напряжений в генераторе при колебаниях напряжения сети в пределах 100—140 *в* (при установке переключателя на 120 *в*) или 160—230 *в* (при установке переключателя на 220 *в*).

Сигнал-генератор. Как видно из приведенного выше краткого описания современной конструкции генератора стандартных сигналов, это — довольно сложный и дорогой испытательный прибор. Генератор стандартных сигналов незаменим при определении качественных показателей радиоприемников. Но при налаживании и ремонте последних можно обойтись более простыми устройствами, например сигнал-генераторами, у которых отсутствуют буферный каскад и приборы для измерения уровня сигнала и глубины модуляции.



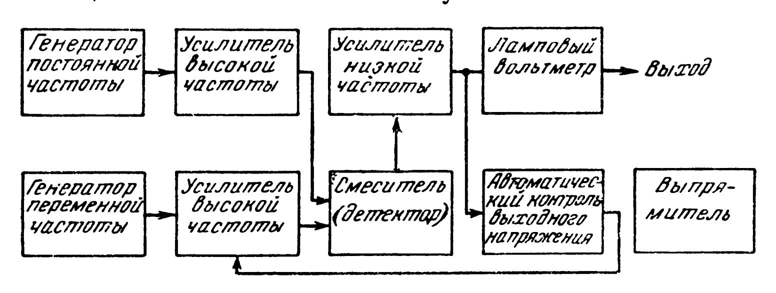
Фиг. 7-60. Принципиальная схема простого сигнал-генератора.

Сигнал-генераторы устроены проще, чем генераторы стандартных сигналов. Для них в качестве аттенюаторов часто применяют обычные потенциометры и переключатели и меньше внимания уделяют вопросам экранирования и стабильности питания. Полная принципиальная схема простого сигнал-генератора приведена на фиг. 7-60. Оба генератора (высокочастотный и низкочастотный) собраны по схеме, отличающейся относительно высоким постоянством амплитуды генерируемых сигналов, простотой в сборке и налаживании. Потенциометр R регулирует глубину модуляции, а конденсатор переменной емкости C_1 (вместе с постоянными конденсаторами C_2 и C_3) образует емкостный делитель напряжения.

Звуковые генераторы служат для испытания и налаживания усилителей низкой частоты, громкоговорителей, звукозаписывающих устройств и др. К ним предъявляются не менее строгие требования, чем к высокочастотным генераторам стандартных сигналов. Прежде всего от них требуется получение чисто синусоидальных колебаний (без гармоник), высокая точность установки частоты, постоянство амплитуды и обычно значительная выходная мощность. Таким требованиям удовлетворяют многоламповые приборы, большей частью использующие метод биений двух высокочастотных сигналов.

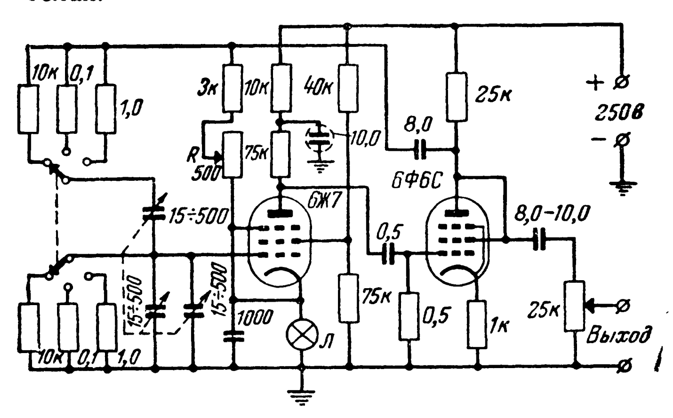
Блок-схема подобного генератора изображена на фиг. 7-61. Один из высокочастотных генераторов имеет фиксированную частоту, частоту же другого генератора можно плавно

изменять на 15—20 *кгц* от совпадения с частотой первого генератора. В результате сложения (после усиления) обоих колебаний на входе детектора получаем на его выходе синусоидальное напряжение частоты, равной разности частот слагаемых колебаний. Это низкочастотное напряжение затем усиливается не вносящим заметных искажений усилителем и



Фиг. 7-61. Блок-схема генератора низкой частоты на биениях типа ЗГ-2.

через регулятор подается на зажимы выхода. Для контроля за уровнем выходного сигнала служит вольтметр переменного тока (обычно ламповый), который (применительно к стандартному сопротивлению нагрузки) градуируют не в вольтах, а непосредственно в децибелах.



Фиг. 7-62. Принципиальная схема генератора синусоидальных колебаний низкой частоты на *RC*.

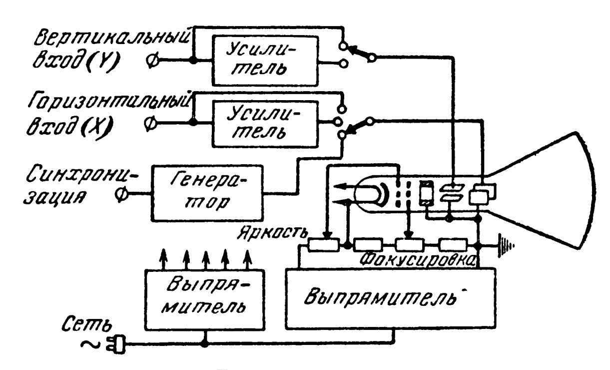
Нужные для целей ремонта колебания звуковой частоты могут быть получены и от генераторов, собранных по схеме *RC*. Схема одного из таких генераторов изображена на фиг. 7-62. Наличие обратной связи в цепи первой лампы обеспечивает генерирование колебаний, достаточно близких к синусоидальной форме, и поддержание постоянства выходного напряжения.

Электронный осциллограф. Очень большую помощь при исследованиях приемников, усилителей и другой радиоаппаратуры оказывает электронный осциллограф.

Осциллограф (блок-схема его дана на фиг. 7-63) содержит электронно-лучевую трубку, высоковольтный выпрямитель для подачи напряжений на ее электроды и усилитель с регулированием усиления измеряемых напряжений.

Исследуемое напряжение прикладывается к отклоняющим пластинам трубки, расположенным по вертикальной оси *Y*, и электронный луч под влиянием электрического поля, созданного этим напряжением, колеблется ему в такт и прочерчивает на люминесцирующем экране вертикальную прямую линию.

Но чтобы получить на экране график измеряемого напряжения, т. е. по экрану трубки развернуть получившуюся линию, надо луч одновременно отклонять равномерно слева направо. Это выполняет генератор пилообразного напряжения (генератор развертки), подающий вырабатываемое им напряжение на пластины трубки, расположенные по горизонтальной оси. За время нарастания зубца пилообразного напряжения луч равномерно отклоняется слева направо, в момент крутого спада напряжения он быстро возвра-



Фиг. 7-63. Блок-схема осциллографа.

щается назад и каждый следующий зуб напряжения развертки повторяет этот процесс. Если частота развертки (частота пилообразного напряжения) совпадает с частотой исследуемого напряжения или в целое число раз меньше последней, то на экране трубки появляется неподвижное изображение одного или нескольких периодов исследуемого напряжения. Таким образом, для измерений на различных частотах генератор развертки должен допускать плавное изменение частоты его колебаний в значительных пределах (обычно осциллографы снабжаются генераторами с диапазоном частот от 5—20 *гц* до 100—300 *кгц*).

В электронных осциллографах предусматривается возможность синхронизации[1] развертки частотой испытываемого сигнала. Такая синхронизация необходима потому, что генератор развертки не обладает высокой стабильностью частоты, малейшее изменение которой приводит к тому, что изображение начинает быстро перемещаться по экрану и наблюдение его становится невозможным. Кроме того, точная установка частоты развертки вручную (при не слишком низких частотах) была бы весьма затруднительна при отсутствии автоматической синхронизации.

7. ВЫБОР ДЕТАЛЕЙ И ЛАМП

Сборка электрического прибора требует тем большей тщательности, а предъявляемые к его деталям требования тем строже, чем выше частота тока, который в данном приборе должен генерироваться, усиливаться или выпрямляться. Чем выше частота, тем более устойчивы и нечувствительны к сотрясениям должны быть детали, особенно образующие колебательные контуры, тем меньшие потери должны они вносить и тем меньше должна быть собственная емкость катушек и сопротивлений. При очень высоких частотах даже цоколи ламп вносят значительные потери, а для ультракоротких волн нужны даже особые конструкции ламп — со специальными цоколями и короткими соединительными проводами.

Само собой разумеется, что в одном и том же приемнике наравне с высококачественными могут применяться и более дешевые детали. Например, при выборе деталей для низкочастотных цепей уже нет надобности руководствоваться теми соображениями, что и при высоких частотах. Нужно, следовательно, учитывать, где к отдельным деталям нужно предъявить повышенные требования и где по соображениям экономичности можно применить детали более дешевые.

Сопротивления. По конструктивному устройству сопротивления делятся на постоянные и переменные, а по материалу, из которого они изготовляются, — на проволочные и непроволочные.

Проволочные сопротивления отличаются высоким постоянством электрического сопротивления. Единственным фактором, влияющим на их стабильность, является изменение рабочей температуры. Но при соответствующем выборе диаметра проволоки эти сопротивления могут рассеивать значительные мощности (порядка десятков ватт) при сравнительно малых размерах и, следовательно, сохранять постоянство температуры. Недостатками проволочных сопротивлений являются сложность изготовления высокоомных сопротивлений и относительная дороговизна в сравнении с непроволочными.

Проволочные сопротивления наматываются на плоские или цилиндрические каркасы из изоляционных материалов, выдерживающих расчетную рабочую температуру, которая при большой мощности в иных случаях может достигать 200—300° С. Наилучшими из проволочных сопротивлений, но не допускающими ремонта, являются остеклованные. Их основанием служит фарфоровая или керамическая трубка; проволочная обмотка залита стекловидной эмалью, предохраняющей проволоку от механических деформаций и от влияния влаги.

Поскольку обмотка сопротивлений обладает определенной индуктивностью, с которой нельзя не считаться при высоких частотах, то для установки в высокочастотных цепях годны лишь проволочные сопротивления с бифилярной намоткой, т. е. обмоткой из сложенного вдвое (пополам) провода.

Непроволочные сопротивления изготовляются из разнообразных мастик, основной частью которых является углерод. Слой этой мастики наносится на поверхность фарфоровой, керамической или стеклянной трубки или стерженька (у постоянных сопротивлений) или на поверхность изоляционной подковки, по которой скользит ползунок (у переменных сопротивлений).

Величина непроволочных сопротивлений (особенно опрессованных типа ТО) сильно зависит от температуры и изменяется с течением времени. От этих недостатков в значительной мере свободны непроволочные сопротивления типа ВС, выпускаемые от 10 *ом* до 50—60 *мгом* на мощность от 0,25 до 10 *вт*, а также сопротивления типа МЛТ.

Переменные сопротивления подразделяются в зависимости от числа выводов, служащих для включения их в схему, на реостаты (два вывода), потенциометры (три вывода) и потенциометры с отводами (четыре и более выводов). Они бывают с плавным (со скользящим движком) и ступенчатым (с переключателем) регулированием. Реостаты и потенциометры, как и постоянные сопротивления, вы-

[1] Синхронизация—совпадение во времени. В осциллографах синхронизация состоит в том, что частота развертывающегося напряжения точно равна или в целое число раз меньше частоты развертываемого напряжения.

пускаются на различную мощность. Малогабаритные непроволочные потенциометры для радиоприемников рассчитаны на мощность 0,5—2 *вт*.

Выбор сопротивления. Сопротивления, включаемые в цепи токов высокой частоты (в колебательные контуры, цепи управляющих сеток и анодов ламп), должны быть безиндукционными, поэтому здесь, как правило, отдают предпочтение непроволочным сопротивлениям, тем более, что при незначительных мощностях, что обычно и имеет место в указанных цепях радиоприемной аппаратуры, эти сопротивления обладают малыми габаритами и создают минимальные емкости. Если же нужно применить проволочные сопротивления, как обладающие более постоянными параметрами, то они должны быть с бифилярной намоткой.

В низкочастотных цепях и цепях постоянного тока в приемно-усилительной аппаратуре проволочные сопротивления применяют, если необходимо обеспечить высокое постоянство сопротивления (например, при получении сеточного смещения) или при большой мощности рассеивания (добавочные сопротивления в цепях накала, высоковольтные балластные сопротивления и пр.).

В анодных цепях ламп радиоприемников, исключая выходной каскад, сопротивления должны быть рассчитаны на мощность 0,5—1 *вт*, а в цепях экранных сеток — обычно на мощность 0,5 *вт*. В цепях управляющих сеток ламп могут применяться сопротивления на 0,25 *вт*.

В измерительной аппаратуре, где требуются высокая точность и постоянство сопротивлений, желательно применять проволочные сопротивления, причем для измерений на переменных токах они должны быть бифилярными. Но высокоомные проволочные сопротивления могут оказаться слишком дорогими и громоздкими.

Проволочные сопротивления, величина которых не должна заметно изменяться от нагрева, изготовляются из материалов, которым следует отдавать предпочтение в следующем порядке: манганин, константан, никелин.

Аналогичными соображениями пользуются при выборе переменных сопротивлений. Высокоомные реостаты и потенциометры, от которых не требуется рассеяния большой мощности (регуляторы громкости и тембра), выбираются непроволочными; низкоомные регуляторы, особенно при большой их нагрузке током (например, реостаты накала), делаются проволочными. Чтобы защитить регуляторы от влияния посторонних высокочастотных и низкочастотных полей, их экранируют.

Конденсаторы. Как и сопротивления, конденсаторы могут быть постоянной и переменной емкости. И те и другие делятся также по конструктивному устройству и примененному диэлектрику на ряд групп.

Параметры конденсаторов. Номинальной емкостью конденсатора называется емкость, которой маркирован конденсатор. При температуре 20° С истинная емкость конденсатора может отличаться от номинальной не больше, чем это оговорено допуском в процентах, и для различных типов конденсаторов может составлять от 0,5 до 20%.

Температурный коэффициент емкости. Большинство конденсаторов при повышенной температуре увеличивает свою емкость. Для объективной оценки зависимости емкости от температуры введен температурный коэффициент емкости ТКЕ, который показывает, на какую долю увеличивается емкость конденсатора при повышении температуры на 1° С:

$$\text{ТКЕ} = \frac{C_{21} - C_{20}}{C_{20}}, \qquad (7\text{-}30)$$

где C_{21} — емкость конденсатора при температуре 21° С, а C_{20} — то же при температуре 20° С. Зная значение ТКЕ конденсатора, можно высчитать его емкость при любой температуре:

$$C_T' = C_{20}\,[1 + \text{ТКЕ}\,(T - 20)], \qquad (7\text{-}31)$$

где C_T' — емкость конденсатора при температуре T° С.

В реальных условиях изменение емкости конденсатора под влиянием температуры редко превышает несколько процентов и в ряде случаев не имеет практического значения, но в измерительной аппаратуре и резонансных цепях такое отклонение оказывает существенное влияние на работу аппарата в целом.

Пробивное напряжение — напряжение, при котором происходит пробой диэлектрика, сопровождающийся частичным разрушением его и обычно коротким замыканием обкладок конденсатора (исключая, конечно, воздушные и вакуумные конденсаторы). Иногда после пробоя наблюдается не короткое замыкание, а увеличенная утечка тока через место пробоя диэлектрика. В этих случаях сопротивление конденсатора постоянному току может составлять десятки и даже сотни ом.

Испытательное напряжение — напряжение, под которым испытывается конденсатор на

прочность при выпуске на заводе. Обычно испытательное напряжение в 2—3 раза превышает рабочее напряжение, тем не менее использовать конденсатор в аппаратуре при подобных значениях напряжения нельзя, так как это значительно сокращает срок службы конденсатора и, кроме того, с повышением напряжения ухудшаются свойства его диэлектрика.

Пиковое напряжение — наибольшее значение кратковременного импульса напряжения на электролитическом конденсаторе, при котором гарантируется сохранность его диэлектрика.

Рабочее напряжение — рекомендуемое заводом предельное напряжение на обкладках конденсатора, при котором гарантируется установленный срок его службы и его электрические параметры.

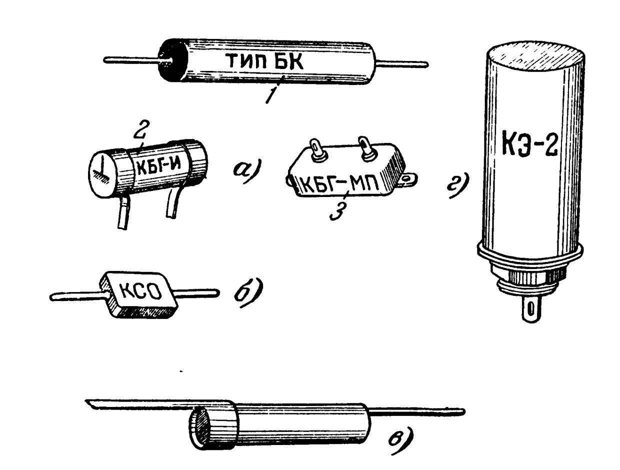
Угол потерь рассмотрен на стр. 46.

Конденсаторы постоянной емкости чаще всего изготовляют со следующими диэлектриками: бумажным, слюдяным, керамическим и электролитическим. Существуют также вакуумные, воздушные и газонаполненные конденсаторы постоянной емкости, но в радиоприемной и усилительной аппаратуре они не применяются.

Бумажные конденсаторы (фиг. 7-64,*а*) состоят из лент тонкой оловянной или алюминиевой фольги и проложенных между ними лент специальной пропарафинированной конденсаторной бумаги. Эти ленты свертываются в виде рулонов или галет, упаковываемых в картонные или стеклянные трубки, либо в жестяные кожухи. Бумажные конденсаторы выпускаются емкостью от 50 *пф* до 100 *мкф* на рабочие напряжения от 120 до 10 000 *в*. Отклонение номинала у них составляет 10—20% и с течением времени изменяется, а ТКЕ и угол потерь значительны ($\operatorname{tg}\delta$ уже при низких частотах достигает 0,01). Отсюда ясно, что такие конденсаторы непригодны для установки их в высокочастотных колебательных контурах.

Бумажные конденсаторы с выводами только от двух точек ленточных обкладок обладают значительной для высоких частот индуктивностью, которая резко снижает их действующую емкость. Поэтому выпускаются безиндукционные конденсаторы, у которых выводы припаиваются к лентам фольги не в одной точке, а к бортику каждой ленты по всей ее длине, так что току не приходится проходить по образуемой каждой лентой спирали, и индуктивность конденсатора получается такой же ничтожно малой, как у плоских пластин. В настоящее время так изготовляют все круглые конденсаторы емкостью до 0,5 *мкф*.

Слюдяные конденсаторы (фиг. 7-64,*б*), состоящие из большого числа обкладок фольги, переложенных пластинами из слюды, обычно обжимаются и запрессовываются в карболитовую массу, но бывают они также неопресованные вовсе или залитые термопластичной массой. Номинальные емкости этих конденсаторов лежат в пределах 10—50 000 *пф* и в зависимости от класса точности погрешность маркировки может составлять 5, 10 и 20%. Угол потерь слюдяных конденсаторов при высоких частотах сравнительно мал ($\operatorname{tg}\delta \approx 0{,}006$), но при опрессовке их некоторыми термопластическими массами (особенно темных цветов) часто наблюдается резкое увеличение его с течением времени.



Фиг. 7-64. Некоторые из типов конденсаторов постоянной емкости.

а — бумажные конденсаторы (*1* — в трубке из бакелизированной бумаги, *2* — в керамическом корпусе, *3* — в металлическом корпусе), *б* — слюдяной конденсатор КСО; *в* — керамический конденсатор (КТК); *г* — электролитический конденсатор.

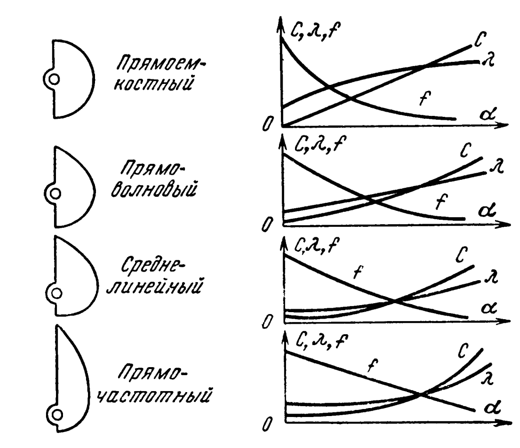
Керамические конденсаторы (фиг. 7-64,*в*) выполняются в виде пластинок, трубок или горшков, на обеих поверхностях которых наносятся слои металла, выполняющие роль обкладок. Стабильность емкости во времени у этих конденсаторов объясняется отсутствием между твердым диэлектриком и обкладками воздушной прослойки. Керамические конденсаторы малой мощности выпускаются двух типов: высокостабильные (ТКЕ около нуля) и компенсирующие (с отрицательным ТКЕ). Конденсаторы с различными ТКЕ различают по цвету их корпусов (табл. 7-7). Угол потерь меньше у высокостабильных ($\operatorname{tg}\delta$ порядка 0,0001), но и у компенсирующих он не превы-

шает значений, свойственных слюдяным конденсаторам.

Таблица 7-7

Группа	Цвет корпуса	ТКЕ
Ж	Оранжевый . . .	$-(570\pm70)\cdot10^{-6}$
М	Голубой	$-(50\pm30)\cdot10^{-6}$
Р	Серый	$+(30\pm30)\cdot10^{-6}$
С	Синий	$+(110\pm30)\cdot10^{-6}$

Номинальные емкости малогабаритных керамических конденсаторов лежат в пределах от 1 до 750 *пф* на рабочие напряжения 250 *в* переменного или 500 *в* постоянного тока.



Фиг. 7-65. Градуировочные кривые конденсаторов переменной емкости.

Электролитические конденсаторы (фиг. 7-64,*г*) представляют собой совершенно особую по своим свойствам группу конденсаторов. Диэлектриком их служит чрезвычайно тонкая оксидная пленка на поверхности алюминиевой фольги, формируемая путем электролиза.

Достоинством электролитических конденсаторов является возможность получения очень больших емкостей (до тысяч микрофарад) при малых габаритах. Но эти конденсаторы могут работать лишь при постоянном напряжении (причем необходимо строгое соблюдение его полярности) и переменная составляющая не должна превышать 10% от этого напряжения. Чем выше частота переменной составляющей, тем больше уменьшается действующая емкость конденсатора. Так, при частоте пульсации 400 *гц* емкость в среднем уменьшается вдвое, при частотах 5 000—10 000 *гц* она снижается до 0,2 номинальной, а при высоких частотах обращается в нуль.

Все электролитические конденсаторы обладают значительным током утечки, нормально равным десяткам микроампер на 1 *мкф* емкости у высоковольтных и единицам микроампер на 1 *мкф* у низковольтных конденсаторов. Повышение рабочей температуры приводит к сильному росту тока утечки. При длительном хранении электролитические конденсаторы заметно снижают свою емкость, а в иных случаях теряют ее совсем. Для предотвращения этого бездействующие электролитические конденсаторы рекомендуется время от времени ставить под напряжение.

Ассортимент выпускаемых электролитических конденсаторов определяется диапазоном емкостей от 8 до 50 *мкф* при высоких рабочих напряжениях (150—500 *в*) и от 10 до 2 000 *мкф* при низких рабочих напряжениях (8—50 *в*).

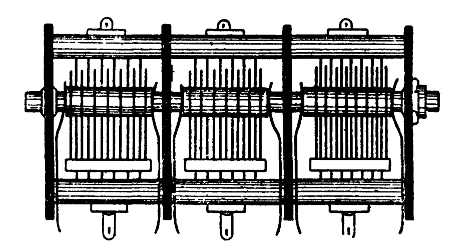
Конденсаторы переменной емкости изготовляются с воздушным и с твердым диэлектриком, которым служит полистирольная или иная пленка. Пределы изменения емкости для первых составляют обычно 15—500 *пф*, для вторых от 20—50 *пф* до 150—1 000 *пф*.

Воздушные конденсаторы отличаются высокими качествами и постоянством параметров и градуировки, что в меньшей мере свойственно конденсаторам с твердым диэлектриком. Они применяются главным образом для настройки колебательных контуров, причем градуировка шкалы определяется формой подвижных пластин включенного в контур конденсатора (фиг. 7-65). Если пластины сделать полукруглыми, то поворот ротора на одинаковый угол α в любой точке шкалы вызовет одинаковое изменение емкости C. Такие конденсаторы называются прямоемкостными (график их емкости изображается прямой линией). Они находят применение только в качестве образцовых при измерении емкости. Если требуется получить равномерную шкалу по длине волны λ, то применяют прямоволновые конденсаторы. В радиовещательных приемниках чаще применяются прямоволновые или среднелинейные конденсаторы, обеспечивающие более равномерное расположение станций на шкале. У среднелинейного конденсатора относительное изменение частоты f в любой точке шкалы получается одинаковым. Для получения равномерной шкалы частот служат прямочастотные конденсаторы. Они очень удобны для измерительных генераторов и коротковолновых профессиональных приемников.

Наряду с одиночными конденсаторами переменной емкости для целей одновременной

настройки нескольких колебательных контуров выпускаются сдвоенные, строенные и счетверенные блоки (фиг. 7-66). Для специальных регулировок (громкости, тембра, связи) изготовляются так называемые дифференциальные конденсаторы переменной емкости, большей частью с твердым диэлектриком (фиг. 7-67).

Конденсаторы переменной емкости с малой конечной емкостью (до 30—60 *пф*) называют обычно подстроечными. В качестве диэлектриков у них наряду с воздухом часто применяют слюду и керамику (фиг. 7-68). Лучшими из подстроечных конденсаторов являются воз-



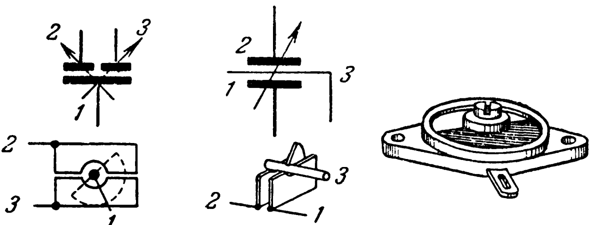
Фиг. 7-66. Строенный блок конденсаторов переменной емкости.

душные на фарфоровом основании и керамические, причем последние обладают тем преимуществом, что при одинаковой максимальной емкости они по размерам меньше воздушных.

Выбор конденсаторов. Конденсаторы с воздушным диэлектриком и керамические ввиду их относительной дороговизны рационально применять только в высокочастотных колебательных контурах. Можно применять в колебательных контурах и слюдяные конденсаторы, хотя и не все из них обладают достаточно малым углом потерь. Если нет возможности измерить угол потерь, то при сомнениях относительно качества установленного в контур слюдяного конденсатора надо заменить его на время керамическим конденсатором такой же емкости и судить о качестве первого по изменению работы аппарата в целом. Бумажные конденсаторы применять в колебательных контурах не рекомендуется.

Для связи между высокочастотными каскадами в качестве разделительных конденсаторов можно ставить слюдяные. В цепях экранных сеток ламп и в анодных фильтрах высокочастотных каскадов для развязывания цепей допустимо применять безиндукционные бумажные конденсаторы; при этом должна быть заземлена или соединена с проводом общего минуса наружная обкладка конденсатора (вывод от нее помечается соответствующим значком на корпусе или торце безиндукционных конденсаторов). В низкочастотных каскадах все конденсаторы могут быть бумажные.

При выборе разделительного конденсатора для связи между каскадами надо убедиться в том, что он обладает при рабочем напряжении достаточно высоким сопротивлением изоляции (не менее 500 *мгом*). В цепях сеточного смещения и экранных сеток, а также в анодных фильтрах низкочастотных каскадов можно применять для развязывания электролитические конденсаторы, причем их сопротивление постоянному току при рабочем напряжении должно быть, по крайнем мере, в 10 раз больше величины включенного последовательно или параллельно с ними сопротивления.



Фиг. 7-67. Дифференциальные конденсаторы.

Фиг. 7-68. Керамический подстроечный конденсатор.

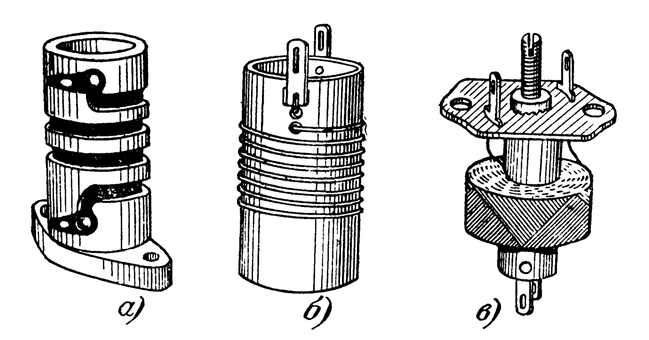
В цепях питания для сглаживания пульсации выпрямленного тока применяются электролитические или бумажные конденсаторы. В выпрямителях, работающих на повышенной частоте (в специальных устройствах), электролитические конденсаторы следует применять лишь при частотах до 1 000 *гц*, причем надо иметь в виду, что действующая емкость их будет ниже номинальной. Для блокировки цепей питания с переменным током, в том числе обмоток трансформаторов, применяются бумажные и слюдяные конденсаторы.

Все конденсаторы должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы они работали под напряжением, не превышающим их номинального рабочего напряжения. Если переменная составляющая напряжения мала (что имеет место во всех каскадах усиления высокой и промежуточной частоты, а также в цепях первого каскада низкой частоты приемника), то достаточно учитывать только постоянное напряжение на конденсаторе. Но в цепях оконечного каскада и выпрямителя надо учитывать также и переменную составляющую, причем ее надо, по крайней мере, утраивать и прибавлять к напряжению постоянной составляющей, потому что всегда возможны случайные пики напряжения, которые могут пробить диэлектрик конденсатора. Особенно высокое рабочее напряжение (не ниже 1 500 *в*) должны иметь конденсаторы, блокирующие высоковольтные обмотки силового трансформатора,

и конденсаторы, присоединенные к аноду лампы оконечного каскада низкой частоты.

Конденсаторы переменной емкости для настройки колебательных контуров приемника всегда желательно иметь с воздушным диэлектриком. Из подстроечных конденсаторов для этих целей следует отдавать предпочтение воздушным и керамическим. Еще в большей мере это относится к колебательным контурам измерительных приборов.

Индуктивности. *Классификация.* Индуктивности целесообразно классифицировать по их



Фиг. 7-69. Образцы контурных катушек.

а — ультракоротковолновая (витки нанесены на каркас проводящей массой); *б* — коротковолновая; *в* — для средних и длинных волн.

назначению. Важнейшую группу индуктивностей составляют катушки для резонансных цепей, значительная часть которых делается переменными или подстраиваемыми, так что их индуктивность можно в некоторых пределах изменять. Затем идет группа катушек с постоянной индуктивностью, называемых дросселями. Они служат для преграждения пути переменным токам и выполняются со стальными сердечниками и без них. К отдельной группе индуктивностей следует отнести трансформаторы.

Высокочастотные контурные катушки (фиг. 7-69) служат для образования совместно с конденсаторами колебательных контуров, настраивающихся на строго заданные частоты. Поэтому величина индуктивности контурных катушек должна быть очень точной и не изменяться с течением времени. Поскольку точно изготовить катушку заданной индуктивности очень трудно, то, как правило, конструкция контурных катушек предусматривает возможность точной подгонки ее индуктивности. Средства регулирования величины индуктивности высокочастотных катушек показаны на фиг. 7-70.

Кроме индуктивности контурные катушки характеризуются также добротностью (стр. 45). В подавляющем большинстве случаев у контурных катушек желательно иметь по возможности большую добротность. Для ее повышения, а также для достижения наибольшего постоянства параметров катушки очень важно применять для каркасов катушек высококачественные изоляционные материалы, и чем выше рабочая частота, тем качественней должны быть изоляционные материалы. Желательно также всячески уменьшать массу изоляционных материалов, особенно на коротких и ультракоротких волнах.

Катушки для настраиваемых контуров должны обладать минимальной собственной



Фиг. 7-70. Способы изменения величины индуктивности.

емкостью (емкость между соседними витками и между витками и корпусом), так как она увеличивает начальную емкость колебательного контура и уменьшает коэффициент перекрытия диапазона и, кроме того, снижает добротность контура. Что касается габаритов контурных катушек, то хотя при больших размерах легче получить большую добротность, все же в современных приемниках предпочитают делать небольшие катушки, которые позволяют компактно смонтировать весь приемник и к тому же они дешевле в производстве.

Катушки с малой индуктивностью для коротких и ультракоротких волн выполняются в форме однослойной намотки толстым голым эмалированным проводом (иногда серебренным) с небольшим шагом между витками. Наилучшим материалом для сердечников этих катушек является карбонильное железо. Средневолновые и длинноволновые катушки, а также катушки контуров промежуточной частоты выполняются по большой части с намоткой типа «универсаль», которая имеет небольшую собственную емкость. Провод для намотки катушек «универсаль» следует брать с шелковой изоляцией. В качестве сердечников для катушек средних и длинных волн на ряду с альсифером РЧ и карбонильным железом пригоден

также магнетит. Надо заметить, что многие сорта магнетита обладают невысокой стабильностью и под действием влаги ухудшают добротность катушек.

Материал каркаса контурной катушки, как и пропиточные и заливочные массы, оказывают существенное влияние на качество контура, а потому должны выбираться с неменьшей тщательностью, чем провод и магнитодиэлектрик. В отношении электрических характеристик наилучшими являются не требующие пропитки и влагостойкого покрытия прозрачные полистирольные каркасы. Затем в порядке ухудшения диэлектрических качеств можно назвать следующие материалы для каркасов: алюминоксид, высокочастотный стеатит, ультрафарфор, керамит, бакелизированные трубки из кабельной бумаги. Последние широко применяются в качестве каркасов контурных катушек для массовых радиоприемников.

При изготовлении каркасов из картона или других волокнистых, а также пористых материалов для предотвращения капиллярной конденсации влаги готовые каркасы следует пропитывать полистирольным лаком, бакелитовым лаком (он требует горячей сушки при температуре до 140° С), глифталевым лаком, парафином или льняным маслом.

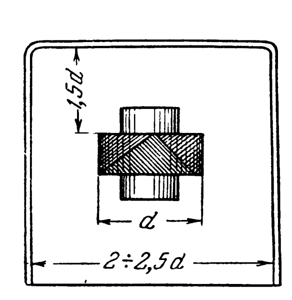
В целях защиты изоляции провода катушки от действия влаги применяется заливка намотанных катушек церезином, для чего изготовленную катушку вместе с каркасом окунают на 2—3 часа в бачок с расплавленным церезином.

При тесном монтаже при необходимости предотвратить влияние магнитных и электрических полей катушки на соседние детали и, наоборот, соседних цепей на катушку прибегают к экранированию катушек (фиг. 7-71). Экраны высокочастотных катушек изготовляются из алюминия. Диаметр экрана должен быть не менее чем в 2—2,5 раза больше диаметра катушки (внешнего диаметра обмотки). Экранирование уменьшает индуктивность катушки (на 15—20%) и ухудшает ее добротность.

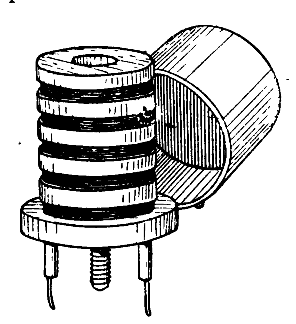
При ремонте, замене и изготовлении контурных катушек надо иметь в виду, что даже незначительное отклонение от расчетных данных в числе витков, размерах и выбранном материале может сделать катушку вовсе непригодной для использования в радиоприемнике. Еще в большей мере это относится к катушкам измерительной аппаратуры.

Дроссели. Выбор дросселя зависит от того, какие частоты он должен задерживать. Чтобы хорошо выполнять свое назначение при высоких частотах, дроссель должен обладать малой собственной емкостью и относительно небольшим числом витков (от 40—80 витков для ультракоротких до 500—1 000 витков для длинных волн). Собственный резонанс дросселя, образуемый его индуктивностью и собственной емкостью, должен быть не слишком острым и во всяком случае резонансная частота дросселя не должна лежать в диапазоне рабочих частот; она должна быть выше самой высокой из рабочих частот.

Для уменьшения собственной емкости ультракоротковолновые дроссели наматывают



Фиг. 7-71. Минимально допустимые размеры экрана.


Фиг. 7-72. Дроссель высокочастотный секционированный.

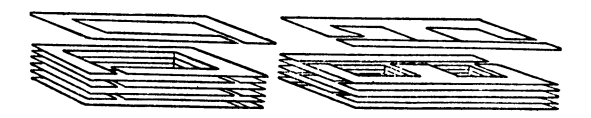
с переменным шагом, а коротковолновые, средневолновые и длинноволновые секционируют (фиг. 7-72), причем числа витков в секциях берут различными. Для подавления резонанса иногда практикуют намотку дросселя из провода с большим активным сопротивлением. Однако применение плохих изоляционных материалов у высокочастотных дросселей недопустимо, ибо диэлектрические потери в них увеличивают общие потери энергии. Для заграждения широкой полосы частот целесообразно последовательно соединять два-три дросселя, рассчитанных на различные частоты.

Низкочастотные дроссели со стальным сердечником применяют в сглаживающих фильтрах выпрямителей и реже в качестве анодных нагрузочных сопротивлений низкочастотных каскадов. Особенностью работы и тех и других является наличие постоянной составляющей тока через их обмотку. Это влечет за собой необходимость воздушного зазора в стальном сердечнике (см. стр. 90).

Что касается дросселей сглаживающего фильтра, то вопрос о необходимой их индуктивности решается в зависимости от емкости конденсаторов фильтра (см. стр. 148), но в общем случае сглаживание пульсации тем лучше, чем больше индуктивность дросселя, т. е. чем больше число витков и сечение сер-

дечника. Обычно сечение сердечника берется не меньше 3—4 *см*², а число витков — от 3 000 до 10 000. Диаметр провода должен соответствовать проходящему через обмотку току и не вызывать большого падения напряжения. Собственная емкость сглаживающих дросселей роли не играет, так как частота тока в них очень мала (50—100 *гц*).

Междуламповый или выходной низкочастотный дроссель наряду с большой индуктивностью должен обладать малой собственной емкостью. Для этого его надо наматывать



Фиг. 7-73. Сборка сердечников без зазора.

аккуратно, виток к витку, с частыми прокладками из конденсаторной бумаги между рядами обмотки.

Трансформаторы со стальным сердечником. Силовые трансформаторы должны иметь обмотки, рассчитанные на необходимые напряжения и токи. Между обмотками не должно наблюдаться заметных утечек и изоляция должна выдерживать относительно сердечника напряжение не ниже 1,5—2 *кв*, а в специальных высоковольтных трансформаторах для питания электронно-лучевых трубок — до 10—15 *кв*. Для защиты от проникновения высокочастотных помех из электросети в приемник силовые трансформаторы часто снабжаются так называемой экранирующей обмоткой, отделяющей вторичные обмотки от первичной, Экранирующая обмотка состоит из одного слоя проволоки или незамкнутого слоя металлической фольги, один вывод которой заземляется. Иногда такими же защитными обмотками снабжаются и выходные трансформаторы.

У междуламповых, выходных, трансляционных и прочих низкочастотных трансформаторов, работающих в цепях токов звуковой частоты, наряду с достаточной индуктивностью обмоток большую роль играет коэффициент трансформации, который особенно точно должен соблюдаться у выходных и трансляционных трансформаторов.

Диаметр провода обмоток, нагружаемых большим током, должен выбираться не только в соответствии с величиной тока, но и с учетом допустимого падения напряжения на них. Так, например, вторичная обмотка входного трансформатора для двухтактного каскада, работающего в режиме класса В, могла бы выполняться проводом 0,1—0,12 *мм*, так как ток в ней обычно равен 15—20 *ма*. Однако, имея большое число витков, она может при этом обладать сопротивлением в несколько сот ом, и тогда падение напряжения в ней может достигать 10 *в* и более. Поэтому в указанных трансформаторах вторичные обмотки мотают и более толстым проводом (0,15—0,25 *мм*), чем это требуется для обеспечения нормальной нагрузки провода током.

Низкочастотные трансформаторы, у которых одна из обмоток включена в анодную цепь лампы (особенно в оконечную), довольно часто снабжаются зазором в стальном сердечнике. У выходных трансформаторов двухтактных усилителей зазор не нужен, потому что направление анодного тока от средней точки первичной обмотки к анодам ламп в обеих половинах ее противоположно, вследствие чего сталь не намагничивается.

Обмотки высококачественных трансформаторов низкой частоты с малой собственной емкостью наматывают в виде отдельных симметрично располагаемых секций. В особо ответственных случаях в измерительной аппаратуре для высоковольтных и импульсных генераторов, особенно при повышенной (до 10—20 *кгц*) частоте, секционированные обмотки устраивают с воздушными промежутками.

Выбор стали для низкочастотных индуктивностей. В зависимости от того, нужен ли зазор в сердечнике изготовляемого трансформатора или дросселя или нет, применяются либо разъемные, либо неразъемные пластины. Замкнутые сердечники можно собрать и из разъемных пластин; для этого при сборке сердечника нужно менять направление их укладки (фиг. 7-73). Но неразъемные пластины не годятся для сборки сердечников с зазором. Тип пластин (см. стр. 212) нужно выбирать так, чтобы в окне сердечника свободно уместились все обмотки. В табл. 7-8 указано, сколько витков провода различного диаметра укладывается в сечении 1 *см*². При этом из площади окна надо вычесть сечение стенок каркаса катушки и учесть прокладки между слоями и обмотками.

Кроме того, пластины надо выбрать так, чтобы при необходимом сечении сердечника соотношение между толщиной и шириной центрального его стержня, на который помещают обмотки, не выходило за пределы 1 : 3.

Толщина одной пластины может быть 0,5 *мм* у силовых трансформаторов и дросселей; для трансформаторов и дросселей, работающих на звуковых частотах, желательно применять более тонкую сталь. Чем выше требования к качеству работы усилителя или

Таблица 7-8

Число витков в 1 $см^2$ сечения плотной намотки

d, мм	ПЭ	ПШО	ПБО	ПБД
0,05	18 000	10 000	—	—
0,07	10 000	6 800	—	—
0,1	5 700	4 250	2 070	—
0,12	4 000	3 320	1 720	—
0,15	2 800	2 400	1 360	—
0,18	2 070	1 800	1 100	—
0,2	1 720	1 530	940	665
0,25	1 140	1 020	700	515
0,3	810	740	540	413
0,4	470	450	325	245
0,5	308	302	231	182
0,6	217	217	172	134
0,8	125	128	108	88
1,0	83	85	73	62
1,2	58	59	53	46
1,4	44	45	41	36

генератора низкой частоты, тем тоньше должны быть пластины в сердечниках индуктивностей.

Перед сборкой сердечника надо проверить целость серого оксидного покрытия или слоя краски на одной стороне поверхности всех пластин и отсутствие царапин на них. Пластины с поврежденным оксидным слоем надо или заменить, или покрыть с одной стороны тонким слоем масляного лака или нитролака (можно также оклеивать их с одной стороны конденсаторной бумагой). При сборке сердечников надо следить, чтобы изоляционный слой на поверхности пластин не повреждался.

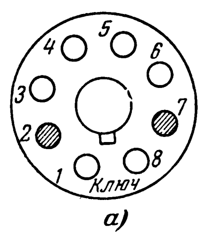
Приемно-усилительные лампы. Все приемно-усилительные лампы разделяются по способу питания на батарейные и сетевые.

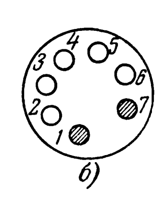
Батарейные лампы. Малогабаритная серия. Значительная часть этой серии имеет стеклянные баллоны с наружной металлизацией, выполняющей роль экрана. Цоколи у этих ламп стандартные восьмиштырьковые (фиг. 7-74,*а*). У ламп, предназначенных для высокочастотных каскадов, в целях уменьшения емкости анод — сетка и разделения цепей этих электродов в монтаже управляющая сетка (или анод — у генераторных пентодов) выводится на колпачок сверху баллона. Напряжение накала большинства ламп этой серии равно 2 *в*, а ток накала может быть от 60 до 320 *ма*. Нормальное напряжение источника анодного питания составляет 120 *в*.

Пальчиковая серия. Все лампы имеют стеклянный баллон, снабженный семью штырьками без цоколя (фиг. 7-74,*б*). Лампы этой серии меньше по размеру и более экономичны по питанию, чем лампы малогабаритной серии. Напряжение накала их равно 1,2 *в*, а ток накала — 60 *ма* (для оконечной — 120 *ма*). Напряжение источника анодного питания составляет 90 *в* (может быть снижено до 45 *в*). Выпускаемые четыре типа батарейных пальчиковых ламп обеспечивает все потребности современного супергетеродинного приемника.

Сетевые лампы. Эта серия ламп с октальным цоколем наиболее обширна по разновидностям и распространению. Она включает целый ряд различных групп ламп, которые сочетаются в радиоаппаратуре в любых комбинациях.

К сетевым лампам относится группа металлических ламп, выпускаемых в стальных баллонах.





Фиг. 7-74. Цоколи приемно-усилительных ламп.

а — октальный цоколь; *б* — цоколь пальчиковой лампы (к заштрихованным штырькам у большинства ламп выведена нить накала).

Они обладают достаточно хорошими эксплуатационными свойствами и ток накала их за исключением мощных и специальных ламп равен 0,3 *а*.

Из металлических ламп выделяется серия одноцокольных ламп (без колпачков). Несмотря на то, что и управляющие сетки, и аноды этих ламп выводятся через один цоколь, паразитные емкости между ними ничтожно малы из-за применения внутри цоколей специальных экранов. Ряд одноцокольных ламп отличается от соответствующих им обычных металлических ламп значительно лучшими параметрами.

Аналогично металлическим лампам с октальным цоколем выпускается большой ассортимент и стеклянных ламп, электрические параметры которых сходны с параметрами соответствующих типов металлических ламп, а иногда даже и превосходят последние. Правда, отсутствие экранирования и некоторое отличие в междуэлектродных емкостях, а также иные габариты иногда затрудняют простую замену металлической лампы эквивалентной стеклянной.

Нормальное напряжение накала сетевых ламп равно 6,3 *в*, а напряжение источника анодного питания составляет 250 *в*, но многие

лампы (исключая оконечные) могут работать и при 90—100 *в*.

Особо следует отметить серию ламп **у н и в е р с а л ь н о г о** питания, снабжаемых также октальными цоколями. Она состоит из указанных выше ламп с током накала 0,3 *а* и дополняется специальным типом оконечных ламп и кенотронов, рассчитанных на этот же ток накала, но на более высокое напряжение накала (30 *в*). Оконечные лампы универсального питания обеспечивают нормальную работу при анодном напряжении 90—120 *в*.

Среди сетевых ламп имеется также ряд специальных типов (телевизионных, ультракоротковолновых и др.), в том числе пальчиковые лампы и электронно-оптический индикатор.

Замена ламп. Кроме замены испорченной лампы однотипной новой встречаются два особых случая замены ламп: 1) замена дефицитной или вышедшей из употребления лампы лампой другого типа и 2) замена всей серии ламп в аппарате в связи с переводом его на другой вид питания.

При выборе новой лампы приходится учитывать не только параметры заменяемой лампы. Если производится временная замена одной-двух ламп приемника или усилителя, а в дальнейшем предполагается применение прежних ламп (например, при временном отсутствии того или иного типа лампы), то надо подобрать такую новую лампу, которая без значительного ухудшения работы аппарата может быть непосредственно вставлена в соответствующую панельку без каких-бы то ни было переделок в схеме. В крайнем случае можно применить для новой лампы переходный цоколь, если ее цоколевка не сходится с цоколевкой заменяемой лампы. Напряжение накала новой лампы должно быть таким же, как и у заменяемой.

Таблица 7-9

Замена ламп без переделки монтажа приемника

Заменяемая лампа	Заменяющая лампа	Заменяемая лампа	Заменяющая лампа
2Ж2М	2К2М	6К9	6К7
2К2М	2Ж2М	6Л7	6А7[1], 6А10С[1]
УБ-240	2Ж2М (триодом)[1]	6Н8С	6С5 (2 шт.)[2]
СО-242	2Ж2М + УБ-240[2]	6Н9С	6С2 (2 шт.)[2]
СО-243[3]	УБ-240 (2 шт.)[2]	6П3С	6П6С
СО-244	СО-258	6П6С	6П3С, 6Ф6С
6Б8С	6Ж7 + 6Х6С[2]	6С5	6Ж7 (триодом)[1]
6Г7	6Ф5 + 6Х6С[2]	6Ф5	6Ж7, 6С2С[1]
6Ж7	6К7	6Ф6С	6П6С
6К7	6К9С, 6Л7	6Х6С	6Н8С[1]
		6Н7С	6Н8С[1,3], 6Н9С[1,3]

[1] Необходим переходный цоколь.
[2] Необходима переходная колодка на две лампы.
[3] В однотактных схемах.

Взаимозаменяемые типы ламп для описанного случая приведены в табл. 7-9.

При переводе приемно-усилительной аппаратуры с сетевого питания на батарейное или наоборот можно руководствоваться табл. 7-10.

Таблица 7-10

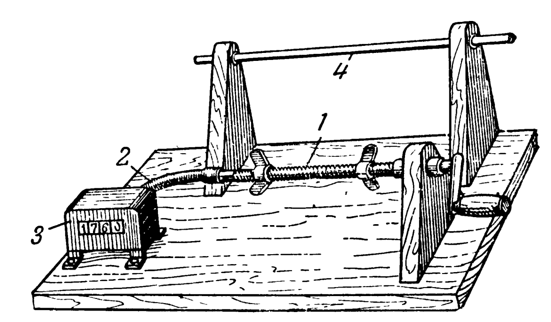
Соответствующие типы сетевых и батарейных ламп

6А7—1А1П	6Н7С—СО-243
6А8—СО-242	6П3С—СО-257
6Б8С—1Б1П	6П6С—2П1П, СО-257
6Г7—2Ж2М, 1Б1П	6С2С—УБ-240
6Ж7—2Ж2М, 1Б1П	6С5—УБ-240
6К7—2К2М, 1К1П	6Ф5С—УБ-240
6Л7—1А1П	6Ф6С—СО-258, СО-244

При переводе сетевой аппаратуры на батарейное питание не всегда необходима замена ламп. Если имеются в распоряжении достаточно мощные накальные аккумуляторные батареи емкостью не менее 40 *а-ч* и анодные батареи емкостью 2—3 *а-ч*, то в аппаратуре можно оставить сетевые лампы.

8. НАМОТКА КАТУШЕК

Намотку катушек удобно производить на специально предназначенных для этого намоточных станках, которые зачастую бывают автоматическими (по достижении заданного числа витков они сами выключаются). Но в распоряжении радиомастерской такие станки бывают редко, хотя все же небольшие станочки (фиг. 7-75), снабженные счетчиком числа оборотов, обычно имеются.

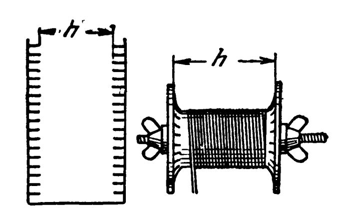


Фиг. 7-75. Станок для намотки катушек вручную.

1 — вал с винтовой резьбой и гайками; *2* — гибкий вал (тросик, пружинка); *3* — счетчик *n* оборотов; *4* — стержень для катушек со сматываемым проводом.

В состав любого приспособления для намотки катушек прежде всего входит вал, снабженный винтовой резьбой, на котором закрепляется каркас наматываемой катушки. Этот вал приводится во вращение либо вручную

с помощью надетой на нем рукоятки, либо электродвигателем мощностью 25—150 *вт*. В последнем случае в устройство станочка вводится переменная трансмиссия или, в крайнем случае, реостат для регулирования скорости вращения вала. К валу присоединяется механический счетчик числа оборотов, в качестве которого в самодельных станочках можно приспособить счетчик автомобильного спидометра. Наличие счетчика уменьшает возможность ошибки в подсчете числа намотанных витков и позволяет намотчику сконцентрировать все внимание на качестве укладки витков. Кроме того, в зависимости от типа намотки (рядовая или «универсаль») станочек может



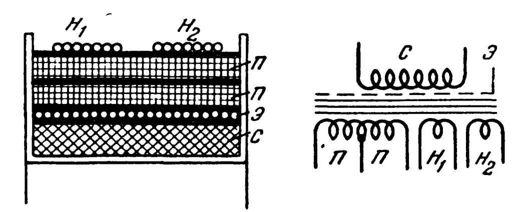
Фиг. 7-76. Прокладки между слоями обмоток.

быть снабжен тем или иным приспособлением для смещения подаваемого провода вдоль оси вала. Впрочем, такими приспособлениями снабжаются далеко не все станочки, так что часто укладку провода на каркас приходится производить вручную. Необходимой частью намоточного станка является также стержень, на который надевается катушка со сматываемым проводом.

Катушки и обмотки из толстой проволоки наматывают вручную, так как здесь необходимо тщательно следить за укладкой каждой четверти витка, и если только каркас не круглый, то из-за значительной жесткости и упругости толстого провода станочная намотка получается неплотной.

Катушки низкочастотных трансформаторов и дросселей наматывают на прямоугольных каркасах. Витки, особенно у выходных трансформаторов, надо располагать ровными рядами, как нитки на катушке. Для предотвращения западания витков из верхних слоев в нижние, что может привести к пробою трансформатора, через каждые три-четыре слоя обмотки прокладывается слой тонкой пропарафинированной бумаги (можно из бумажного конденсатора). Между обмотками устраивается такая же прокладка из лакоткани. Чтобы у стенок каркаса не образовалось щелей, через которые проволока могла бы попасть в другие слои, прокладки берут большей ширины, чем ширина каркаса, а по краям их надрезают (фиг. 7-76). Намотки навалом безусловно следует избегать; она допустима лишь в дросселях для сглаживающих фильтров выпрямителей, и то не всегда.

Концы обмоток надо обвязывать суровой ниткой, которую затем навивают на катушку и завязывают узлом. В случае обрыва проволоки в процессе намотки ее надо аккуратно надпаять без лишнего количества олова, но достаточно прочно и надежно в электрическом отношении и место пайки изолировать небольшим кусочком конденсаторной бумаги, которую прижимают следующими витками.



Фиг. 7-77. Расположение обмоток силового трансформатора.

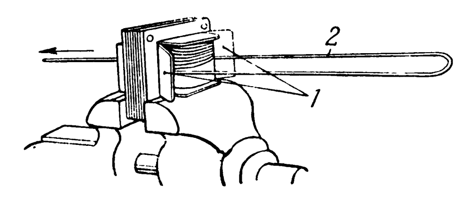
с — сетевая обмотка; *п* — повышающие обмотки; $н_1$ и $н_2$ — накальные обмотки; *э* — экранная обмотка.

Катушки силовых трансформаторов наматываются так же, как и катушки низкочастотных трансформаторов, но так как силовые трансформаторы работают обычно при высоких напряжениях и обладают большой мощностью, намотку их надо производить особенно тщательно, чтобы она не пробилась при включении. Для этого применяется повышенная изоляция между слоями; в трансформаторах мощностью до 60—70 *вт* прокладки устраивают не реже чем через два слоя, а при большей мощности — через каждый слой намотки. Намотка должна производиться равномерными рядами. Между отдельными обмотками прокладывается два—четыре слоя шелковой лакоткани (в зависимости от ее толщины). Погрешность в числе витков у высоковольтных обмоток не должна превышать 2—3, а у накальных — 0,5 витка. Расположение обмоток силового трансформатора показано на фиг. 7-77.

Для повышения влагостойкости изоляции каркас с обмотками полезно пропитать битумом или битумным компаундом, окуная каркас в расплавленную массу этих веществ.

Иногда бывает необходимо снять, домотать или перемотать небольшое число витков (особенно накальные обмотки у силовых трансформаторов и вторичные — у выходных). В этих случаях можно обойтись без разборки сердечника. Достаточно защитить обращенные

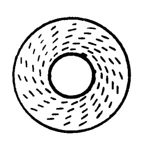
к обмоткам ребра сердечника кусками картона (фиг. 7-78), отрезать необходимой длины кусок провода, и, зажав трансформатор в тисках, протягивать провод через зазоры между



Фиг. 7-78. Намотка без разборки сердечника.
1 — картон; 2 — проволока.

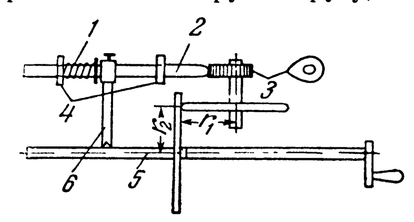
катушкой и защищенным картоном сердечником.

Намотка типа «универсаль» (фиг. 7-79) осуществляется с помощью станочков, снабженных специальным приспособлением для периодического смещения вдоль оси вала (фиг. 7-80) подаваемой к намотке проволоки. Чтобы укладываемая зигзагообразной линией проволока не сбивалась, ее обычно пропускают во время намотки через ватку, смоченную разведенным на спирте шеллаком. Тогда при укладывании витки сразу же приклеиваются друг к другу, и катушка

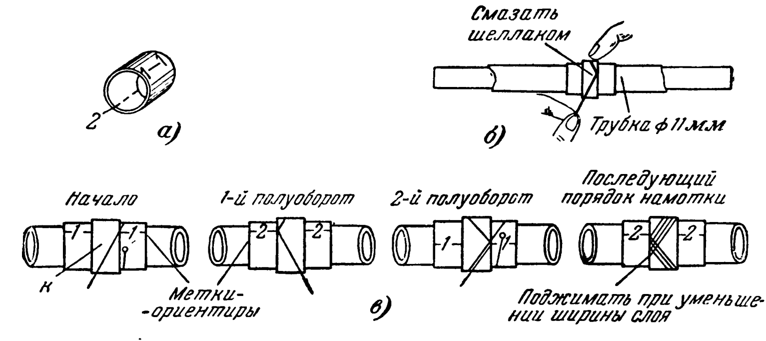




Фиг. 7-79. Намотка типа „универсаль".



Фиг. 7-80. Схема станка для намотки типа „универсаль".
1 — пружинка; 2 — толкатель; 3 — кулачок; 4 — стойки; 5 — главный вал; 6 — поводок для укладки провода; r_1 больше r_2 на 2—3 *мм*.



Фиг. 7-81. Намотка катушки типа „универсаль" вручную.
а — нанесение двух отметок-ориентиров; б — закрепление витков; в — схема намотки (к — бумажное кольцо)

приобретает достаточную прочность. При наличии должной тренировки намотку типа «универсаль» удается выполнять и вручную без помощи станка (фиг. 7-81).

В заключение отметим, что катушки с обычной намоткой рядами при отсутствии намоточного станка можно мотать на медленно вращающемся токарном станке, для чего с его шпинделем сочленяют счетчик оборотов, а в патрон зажимают вал для крепления каркасов катушек.

Добавочные сопротивления удобно наматывать внавал с помощью зажатой в настольных тисках малой ручной дрели, в патрон которой вставляется болт, пропущенный через каркас сопротивления.

9. ИСПЫТАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Раньше чем изготовленную или отобранную деталь установить в собираемый или ремонтируемый аппарат, надо убедиться в том, что она вполне исправна, так как обнаружить неисправную деталь в смонтированном аппарате, содержащем сотни различных деталей, значительно труднее. Ниже рассматриваются способы испытания не вмонтированных в аппарат деталей, но в то же время указывается, как производить соответствующее испытание смонтированной детали, так как это является одним из способов обнаружения дефектов в неисправной, подлежащей ремонту аппаратуре.

Внешний осмотр. До проверки электрических параметров той или иной детали ее надо подвергнуть тщательному внешнему осмотру, при котором могут обнаружиться такие дефекты, что деталь может быть сразу забракована. К числу их относятся вздутие и коробление опрессовки сопротивлений ТО и слюдяных конденсаторов, запах гари у сопротивлений, катушек и трансформаторов, обрывы в катушках и выводах различных деталей, короткое замыкание между пластинами конденсаторов переменной емкости, вздутие электролитических конденсаторов и многие другие.

Надо также убедиться в механической исправности и прочности проверяемой детали, в отсутствии качания штырьков штепсельных соединений, отклеенных колпачков и баллонов у ламп, незакрепленных контактных лепестков, свободного хода у роторов конденсаторов переменной емкости и реостатов, плохо стянутых сердечников трансформаторов и т. п. Лишь после детального внеш-

него осмотра можно переходить к электрическим испытаниям детали.

Испытание сопротивлений. Радиомастер обычно ограничивается измерением величины сопротивления постоянному току, для чего в большинстве случаев достаточно пользоваться омметром. Если же необходимо определить величину сопротивления с большой точностью, то пользуются мостом постоянного тока.

Так как многие омметры пригодны для измерения сопротивления до 0,1—1 *мгом*, то при отсутствии мегомметра для измерения больших сопротивлений можно использовать высокоомный вольтметр постоянного тока. Для этого к вольтметру со шкалой на 150—600 *в* присоединяют источник постоянного тока (батарею или выпрямитель) с напряжением, при котором стрелка вольтметра отклонялась бы по возможности до конца шкалы, и записывают показания вольтметра U_1. Затем последовательно с вольтметром и источником напряжения включают известное сопротивление R_1 (оно должно отличаться от величины испытываемого сопротивления R_x не больше чем в 5—10 раз) и записывают новое показание U_2 вольтметра (фиг. 7-82). После этого сопротивление R_1 отключают и включают неизвестное R_x и записывают новое показание U_3 вольтметра. Тогда сопротивление R_x определится по формуле

$$R_x = \frac{R_1 U_2 (U_1 - U_3)}{U_3 (U_1 - U_2)}. \qquad (7\text{-}32а)$$

Если известно сопротивление вольтметра на используемой шкале (оно может быть определено раз навсегда как $r = \frac{R_1 U_2}{U_1 - U_2}$), то формула (7-32*а*) несколько упрощается и

$$R_x = \frac{(U_1 - U_3)\, r}{U_3}. \qquad (7\text{-}32б)$$

Описанный способ пригоден для измерения сопротивлений вообще при отсутствии омметра. Надо только выбирать шкалу вольтметра и напряжение источника тока так, чтобы значения U_2 и U_3 не оказались очень близкими к значению U_1 или к нулю.

Для проверки сопротивления на целость можно воспользоваться неоновой лампочкой, включив ее последовательно с проверяемым сопротивлением и подключив эту схему к источнику напряжения. При этом последовательно с неоновой лампочкой всегда должно быть включено ограничивающее ток сопротивление на 30—100 *ком*.

При необходимости измерить вмонтированное в аппарат сопротивление надо отпаять один из его концов и лишь после этого подключить к нему измерительный прибор. Измерение в этом случае должно производиться при выключенном питании радиоприемника.

Испытание конденсаторов. *Проверка на замыкание обкладок и измерение сопротивления изоляции.* Сначала испытывают конденсатор на отсутствие короткого замыкания между его обкладками. Для этого можно воспользоваться любым прибором для измерения сопротивления постоянному току, например омметром. При таком испытании конденсаторов большой емкости стрелка прибора в первый момент (пока по цепи проходит ток заряда конденсатора) может отклониться, но затем вернется к началу шкалы. Если данный омметр предназначен для измерения достаточно больших сопротивлений, то одновременно можно и определить сопротивление изоляции бумажных и электролитических конденсаторов (у воздушных, слюдяных и керамических конденсаторов оно слишком велико, и стрелка прибора должна устанавливаться на бесконечность). Но сопротивление изоляции желательно измерять под напряжением (мегомметром с рабочим напряжением до 400—500 *в*).

Фиг. 7-82. Измерение вольтметром высокоомных сопротивлений.

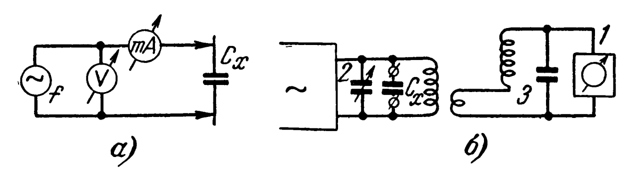
Нормальным сопротивлением изоляции для бумажных конденсаторов считается 300 *мгом* на 1 *мкф* емкости и минимальным — 100 *мгом* на 1 *мкф*. Следовательно, бумажный конденсатор емкостью в 4 *мкф* должен обладать минимальным сопротивлением $\frac{100}{4} = 25$ *мгом*, а конденсатор емкостью 0,1 *мкф* — не ниже $\frac{100}{0,1} = 1\,000$ *мгом*.

У электролитических конденсаторов сопротивление изоляции должно составлять от 3 до 10 *мгом* на 1 *мкф*. При измерении сопротивления изоляции электролитических конденсаторов надо быть очень осторожным, чтобы не превысить их рабочего напряжения (особенно у низковольтных) и не нарушить полярность. Для этого надо знать напряжение источников, питающих омметр или мегомметр, и раз навсегда определить вольтметром полярность этих приборов, снабдив их зажимы соответствующими пометками.

Проверку сопротивления изоляции неэлектролитических конденсаторов можно производить неоновой лампочкой с источником постоянного тока, причем напряжение источника

должно превышать потенциал зажигания лампочки, но быть меньше испытательного напряжения конденсатора. Испытываемый конденсатор включается в цепь лампочки последовательно с сопротивлением 0,1—0,5 *мгом.* При исправной изоляции лампочка либо совсем не должна загораться, либо вспыхивать только в момент образования цепи.

Такой неоновый пробник очень удобен для обнаружения нестационарных замыканий в воздушных конденсаторах переменной емкости.



Фиг. 7-83. Измерение емкости.

а — методом вольтметра-амперметра; б — методом подстановки (1 — ламповый вольтметр, 2 — генератор высокой частоты, 3 — резонансный контур конденсатора; связь между генератором и резонансным контуром — слабая индуктивная).

При испытании их надо медленно вращать ротор и внимательно следить за неоновой лампочкой. Обнаружив положение ротора, при котором происходит замыкание, прекращают дальнейшее вращение его и, легко постукивая стерженьком из изоляционного материала по каждой пластине ротора, выявляют перекошенную пластину. Перекошенные пластины ротора рихтуются пинцетом, но если весь ротор сбит по оси, то необходимо центрировать его перемещением подшипниковых втулок в корпусе конденсатора.

Отсутствие замыкания между обкладками конденсатора, вмонтированного в аппарат, можно определить омметром на низкоомной шкале и не отпаивая выводов конденсатора (при этом, конечно, все питание аппарата с испытываемым конденсатором должно быть отключено). При наличии замыкания стрелка омметра установится на нуле, а при отсутствии такового укажет сопротивление параллельной конденсатору цепи, которое иногда может быть и очень малым (например, катушка из нескольких витков толстого провода). Но для измерения сопротивления изоляции любого конденсатора надо обязательно отпаять один из его выводов.

Измерение емкости. Емкость неэлектролитических конденсаторов измеряется описанными выше (стр. 168) мостами. Для измерения емкости электролитических конденсаторов служат специальные приборы, не распространенные в радиомастерских. Как простейшую меру можно применять испытание «на искру», состоящее в наблюдении искры разряда при замыкании накоротко только что заряженного электролитического конденсатора. Правда, мощность искры зависит не только от емкости конденсатора, но и от сопротивления его изоляции, но в общем, чем ярче искра и громче сопровождающий ее щелчок, тем лучше конденсатор.

При отсутствии измерительного моста переменного тока или иных приборов для измерения емкости можно пользоваться методом вольтметра-амперметра. Для этого составляют схему по фиг. 7-83,*а* и при напряжении U(*в*) с частотой f (*гц*) измеряют ток I (*ма*), проходящий через неизвестную емкость C_x (*мкф*). Тогда

$$C_x = \frac{159\,I}{f \cdot U}, \qquad (7\text{-}33а)$$

или если $f = 50$ *гц*, то

$$C_x = 3{,}18\frac{I}{U}. \qquad (7\text{-}33б)$$

Если напряжение и частота постоянны, то можно градуировать амперметр непосредственно в единицах емкости; такой прибор называется **микрофарадометром**. Такого рода измерения применимы, разумеется, только при относительно больших значениях емкости (свыше 50 000 *пф*), когда при частоте 50 *гц* они представляют уже заметную проводимость. Если производить аналогичные измерения при токах значительной частоты, то этот метод приобретает большую точность и в то же время позволяет измерять меньшие емкости.

Во избежание грубых погрешностей при измерениях тока и напряжения внутреннее сопротивление амперметра должно быть мало по сравнению с сопротивлением испытуемой детали. В противном случае нужно определять напряжение U на самой испытуемой детали, т. е. после амперметра, и притом весьма высокоомным вольтметром. И вольтметр и амперметр не должны давать заметных погрешностей при выбранной для измерения частоте, или эти погрешности должны быть заранее известны, и тогда надо внести соответствующие поправки в показания приборов.

Среди других методов определения емкости выделяется метод сравнения измеряемой емкости с образцовым конденсатором; этот метод более точен (точность измерения им зависит от точности образцового конденсатора) и называется часто **методом подстановки**. Конденсатор неизвестной емкости подключается параллельно колебательному контуру LC_{01} высокочастотного генератора (фиг. 7-83,*б*), вследствие чего частота колебаний генератора понижается. Связанный

с генератором резонансный контур, настроенный на прежнюю частоту генератора, теперь уже не будет с ним резонировать, и показания подключенного к нему лампового вольтметра уменьшатся. Чтобы восстановить этот резонанс, т. е. поднять показания вольтметра до прежней величины, нужно увеличить частоту колебаний генератора до прежней величины, а для этого, очевидно, нужно емкость образцового конденсатора уменьшить на столько (до C_{o2}), чему равна добавленная к контуру неизвестная емкость C_x. Тогда

$$C_x = C_{o1} - C_{o2}. \tag{7-34}$$

Угол потерь конденсатора (точнее, тангенс этого угла) можно измерить, как это указывалось на стр. 168, одновременно с измерением емкости на мосте, если регуляторы фазы моста снабжены соответствующими шкалами. В противном случае о $\operatorname{tg}\delta$ испытываемого конденсатора можно вынести только относительное суждение, сравнивая остроту наступления минимальных показаний индикатора моста с характером наступления этого минимума при испытаниях близких по емкости и заведомо качественных конденсаторов. Чем тупее минимум, тем больше потери в испытываемом конденсаторе.

Однако измерительные мосты в большинстве своем работают на низких частотах, стало быть, их показания относительно угла потерь конденсаторов справедливы только для низких частот. Поэтому конденсатор, дающий на мосте хорошие показания, может оказаться непригодным для высокочастотных контуров. Тогда следует определить качество конденсаторов, и если в распоряжении мастерской нет специально предназначенного для этой цели прибора (куметра), то качество конденсаторов определяется установкой их в цепи колебательных контуров действующих приемников.

Так как в высокочастотных цепях конденсаторы имеют небольшие (до 5 000 *пф*) емкости, то в приемнике почти всегда можно найти такой колебательный контур, в котором можно заменить какую-либо из емкостей исследуемым конденсатором. Для исследования конденсаторов емкостью до 500 *пф* удобнее всего заменить им конденсатор переменной емкости в гетеродинном контуре приемника и, измерив на нем ламповым вольтметром напряжение и сравнив его с напряжением при воздушном конденсаторе переменной емкости, введенном примерно на столько, чему равна емкость испытываемого конденсатора, можно судить о качестве последнего. Для хороших конденсаторов эта разность должна быть не более 10%.

Конденсаторы емкостью от 500 до 5 000 *пф* дополняют заведомо хорошим параллельным конденсатором до емкости 5 000 *пф* и включают в качестве последовательного конденсатора в коротковолновый гетеродинный контур приемника. При введенном наполовину роторе конденсаторов переменной емкости измеряют, как и в первом случае, ламповым вольтметром напряжение на контуре и сравнивают его с напряжением на контуре при замкнутом накоротко последовательном конденсаторе контура. Нормально разница в напряжении не должна быть больше 10%.

Испытание повышенным напряжением. Заключительным испытанием конденсаторов является кратковременное включение их под испытательное напряжение, превышающее в 2—3 раза рабочее в случае неэлектролитических, или под пиковое — в случае электролитических конденсаторов. Такое испытание выдерживают не все конденсаторы, некоторый процент конденсаторов, особенно долго бывших в эксплуатации, при этом пробивается. Подобному испытанию целесообразно подвергать конденсаторы, подлежащие установке в цепи с высокими переменными напряжениями (в анодную цепь оконечного каскада и для блокировки высоковольтных обмоток силового трансформатора). Испытательное напряжение нужно прикладывать к обкладкам конденсатора и между обкладками и корпусом, если он металлический.

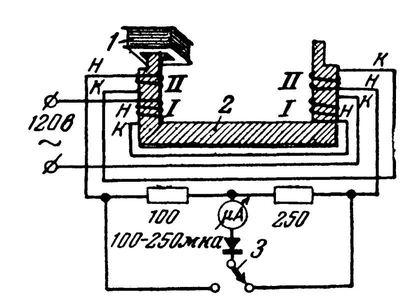
Для измерения емкости и угла потерь небольших конденсаторов, вмонтированных в аппаратуру, их необходимо выпаять, чтобы к их емкости не прибавлялась емкость монтажа. Для измерения емкости и испытания повышенным напряжением конденсаторов от 5 000 *пф* и больше достаточно отпаивать в монтаже один из их выводов.

Испытание катушек, дросселей и трансформаторов. *Испытание обмоток на целость и измерение их сопротивления* постоянному току производится омметром. Для определения сопротивления обмоток электродвигателей и генераторов, если оно очень мало (до 1 *ом*), пользуются методом вольтметра-амперметра при питании цепи низким постоянным напряжением (5—10 *в*).

Испытание катушек на отсутствие короткозамкнутых витков производится специальным прибором (фиг. 7-84), состоящим из надетых на высококачественный стальной сердечник четырех катушек, две из которых питаются переменным током, и миллиамперметра пере-

менного тока, включенного в цепь других двух соединенных навстречу друг другу катушек.

При включении прибора в сеть переменного тока стрелка миллиамперметра не отклоняется, так как э. д. с. вторичных обмоток взаимно компенсируются. Затем на один из кернов сердечника прибора надевается испытываемая катушка или обмотка. Если в ней нет короткозамкнутых витков, то режим работы прибора не изменяется и миллиамперметр попрежнему не будет показывать тока. При наличии же хотя бы одного короткозамкнутого витка симметрия прибора нарушается, э. д. с. вторичных обмоток не компенсируют друг друга и миллиамперметр показывает некоторый ток.



Фиг. 7-84. Прибор для обнаружения короткозамкнутых витков.

1 — испытуемая катушка; *2*—стальной сердечник; *3* — переключатель чувствительности прибора.

Измерение индуктивности производится мостом или указанными для конденсаторов методами вольтметра-амперметра и подстановки.

В случае вольтметра-амперметра в схему фиг. 7-83,*а* вместо емкости C_x нужно включить измеряемую индуктивность L_x, и тогда

$$L_x(гн) = \frac{0{,}16}{f\,(гц)} \sqrt{\frac{U^2_{(в)}}{I^2_{(а)}} - R^2_{(ом)}}, \qquad (7\text{-}35а)$$

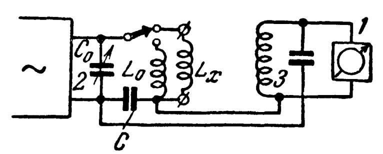
или если $f = 50$ *гц*, то

$$L_x = 3{,}2 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}, \qquad (7\text{-}35б)$$

где R — активное сопротивление обмотки, измеренное отдельно омметром или мостом постоянного тока.

Если R меньше чем $0{,}2\,\frac{U}{I}$, то его можно в приведенных формулах не учитывать. Чем больше частота напряжения, при котором производится измерение, тем больше точность измерения и тем меньшие индуктивности можно измерять. Таким методом измеряются полные сопротивления громкоговорителей и трансформаторов при частоте 800 *гц*. Напряжение при этом должен подавать звуковой генератор, вырабатывающий синусоидальные колебания соответствующей частоты. Все, что говорилось об этом методе при измерении C_x, в равной мере относится и к измерению L_x.

При измерении индуктивности методом подстановки составляется схема по фиг. 7-85, аналогичная схеме фиг. 7-83,*б*, и процесс измерения L_x остается тем же, как и при схеме фиг. 7-83,*б*. Неизвестная индуктивность L_x вводится в колебательный контур вместо образцовой катушки L_o. Во сколько



Фиг. 7-85. Измерение индуктивности.

1 — ламповый вольтметр; *2* — генератор; *3* — резонансный контур (связь между генератором и резонансным контуром — слабая емкостная): $C \geqslant 40\ C_{0\ макс}$.

раз необходимо увеличить (или уменьшить) емкость образцового конденсатора переменной емкости C_o, во столько же раз неизвестная индуктивность меньше (или больше) образцовой катушки, т. е.

$$L_x = \frac{L_o C_{o1}}{C_{o2}}. \qquad (7\text{-}36)$$

Образцовый конденсатор измерительного прибора можно отградуировать непосредственно в единицах индуктивности.

Для определения общей индуктивности обмоток трансформатора надо все их соединить между собой последовательно, соблюдая одинаковое направление витков (конец одной обмотки с началом другой и т. д.).

Измерение индуктивности с постоянным подмагничиванием. Так как величина индуктивности обмотки с подмагничиванием зависит и от величины переменного, и от величины постоянного тока, то определять ее нужно при тех условиях, т. е. при тех $I_=$ и $I_\sim$, при которых она будет работать в данной установке.

Схема измерения показана на фиг. 7-86. Постоянный ток $I_=$, который поступает от батареи *Б*, измеряется миллиамперметром *mA* и величина его регулируется сопротивлением R_1. Затем подводят через понижающий трансформатор *Тр* переменное напряжение к потенциометру R_2, которым устанавливают в цепи переменный ток $I_\sim$ заданной величины.

Величина этого тока определяется из соотношения $\frac{U}{R_0}$, где U — показание лампового вольтметра *ЛВ* и R_0 — точно известное сопротивление. Отрегулировав токи $I_=$ и $I_\sim$, отмечают показание вольтметра $U_\sim$ на зажимах измеряемой индуктивности L_x (в генри). Сопротивление этого вольтметра должно быть очень велико. Тогда

$$L_x = \frac{U_\sim}{6,28\, f I_\sim}, \qquad (7\text{-}37а)$$

или если $f = 50$ *гц* и ток $I_\sim$ — в *ма*, то

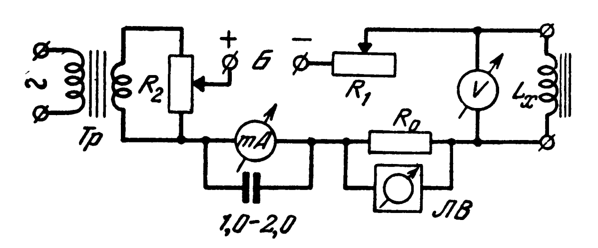
$$L_x = 3,15 \frac{U_\sim}{I_\sim}. \qquad (7\text{-}37б)$$

Определение начала и конца обмоток. При сборке усилительных и особенно генераторных схем необходимо строгое соблюдение присоединений начала и конца катушек и обмоток трансформаторов. Правильность присоединения их можно определить при налаживании аппарата испытанием различных способов включения, но это можно определить и предварительно. Для этого достаточно соединить исследуемые обмотки последовательно, подать к одной из них, содержащей наибольшее число витков, переменное напряжение соответствующей рабочему режиму величины и частоты (для низкочастотных трансформаторов — от сети 50 *гц* или от звукового генератора, а для высокочастотных катушек и трансформаторов — от сигнала-генератора) и измерить подходящим вольтметром напряжение на концах соединенных обмоток. Если оно окажется меньше приложенного от источника, то обмотки соединены навстречу, т. е. начало одной с началом другой (или конец одной с концом другой).

У низкочастотных трансформаторов и дросселей иногда важно определить последовательность, в которой намотаны обмотки, и какие выводы обмоток являются при этом соседними. Это можно определить измерением емкости между выводами различных обмоток: соседними выводами являются те, между которыми емкость, измеренная любым подходящим прибором, получается наибольшей. Начало первой обмотки определяется по максимальной емкости ее вывода относительно стального сердечника.

Определение коэффициента трансформации низкочастотных трансформаторов. Одну из обмоток присоединяют к генератору низкой частоты и устанавливают на ней напряжение 1 или 10 *в*, а напряжение на другой обмотке измеряют по возможности высокоомным вольтметром (например, ламповым вольтметром). Если, например, входное напряжение равно 10 *в*, а выходное 30 *в*, то коэффициент трансформации равен 1 : 3.

У силовых трансформаторов вместо определения коэффициента трансформации измеряют напряжения вторичных обмоток под нагрузкой, соответствующей действительным условиям работы. Для этого первичную (сетевую) обмотку включают в сеть, а ко вторичным обмоткам присоединяют регулируемые сопротивления последовательно с амперметрами, по которым устанавливают соответствующие нагрузки.



Фиг. 7-86. Схема измерения индуктивности при постоянном подмагничивании.

Вместо регулируемых сопротивлений можно пользоваться специально подобранными постоянными сопротивлениями. Если, например, повышающая обмотка имеет напряжение 300 *в* и должна выдерживать нагрузку током 20 *ма* = 0,02 *а*, то для испытания ее необходимо нагрузочное сопротивление $R = \frac{U}{I} = \frac{300}{0,02} = 15\,000$ *ом*.

Независимо от того, применяется ли регулируемое или неизменное нагрузочное сопротивление, они должны выдерживать соответствующую мощность. В приведенном примере оно должно быть рассчитано на мощность $P = U \cdot I = 300 \cdot 0,02 = 6$ *вт*.

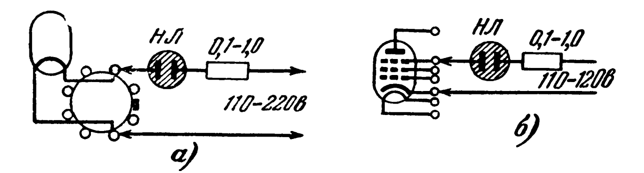
Работая длительное время (не менее 2 час.) под нагрузкой, исправный силовой трансформатор не должен перегреваться (рука должна свободно выдерживать их нагрев).

Испытания качества изоляции между обмотками трансформаторов состоят из следующих элементов: испытание на отсутствие коротких замыканий между выводами различных обмоток, измерение сопротивления между обмотками и испытание изоляции обмоток повышенным напряжением. Эти испытания производятся так же, как соответствующие испытания конденсаторов, для чего служат омметры, мосты постоянного тока и мегомметры, причем производят испытание отдельных обмоток друг относительно друга, относитель-

ного сердечника и относительно экранирующей обмотки, если она имеется.

Сопротивление изоляции должно измеряться сотнями мегом у междуламповых, выходных и трансляционных трансформаторов и, по крайней мере, десятками мегом — у силовых. Изоляция должна выдерживать напряжения, в 2—3 раза превышающие напряжения между обмотками в рабочем состоянии.

Испытание электронных ламп. *Предварительное испытание* имеет целью определить целость нити накала лампы и отсутствие коротких замыканий между ее электродами. Та-



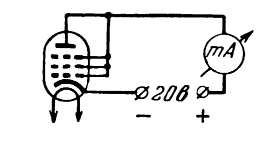
Фиг. 7-87. Предварительные испытания ламп. *а* — на обрыв нити; *б* — на короткое замыкание между электродами.

кое испытание производится омметром или неоновой лампой *НЛ*. При этом нужно только наблюдать, проходит ли ток, если присоединить прибор к выводам нити накала на цоколе лампы, и отсутствует ли он, если подключать прибор к другим электродам (фиг. 7-87). В большинстве приборов для статического испытания ламп предусмотрена возможность удобного и быстрого подобного предварительного испытания.

Статическое испытание ламп представляет собой определение всех параметров лампы, но оно требует довольно сложных аппаратов и производится только в лабораториях. В мастерских же для статического испытания ламп служат упрощенные приборы, называемые испытателями ламп или ламповыми тестерами.

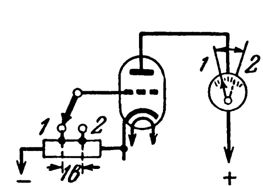
Измерение эмиссии. Большинство испытателей позволяет определять эмиссию катода, т. е. катодный ток лампы при определенных постоянных напряжениях на ее электродах, которые указываются для различных типов ламп заводом-изготовителем в специальных таблицах, прилагаемых к испытателю: в устройство испытателя входят потенциометры и переключатели, позволяющие по этим таблицам воспроизвести необходимый режим испытания. Получающийся при этих условиях анодный ток считается мерилом пригодности лампы. Шкала указателя анодного тока часто не градуируется, а делится на два-три сектора с обозначениями: «хорошая», «пригодная» и «непригодная». При испытании ламп на испытателе со шкалой, отградуированной в процентах, хорошими считаются лампы, дающие не менее 70% нормального анодного тока; при 50—69% они считаются еще пригодными, а ниже 50% лампы бракуются вовсе.

Определение эмиссии упрощенным способом может быть осуществлено и без помощи особого испытателя. Для этого достаточно иметь под рукой источники необходимых для испытания лампы напряжений и миллиамперметр (фиг. 7-88).



Фиг. 7-88. Упрощенный метод измерения эмиссии катода.

Измерение крутизны характеристики. К электродам испытываемой лампы прикладываются постоянные напряжения, соответствующие ее нормальному рабочему режиму, в том числе и напряжение сеточного смещения должно соответствовать выбранной рабочей точке. Определив по миллиамперметру (фиг. 7-89) анодный ток лампы, уменьшают сеточное смещение точно на 1 *в* и вновь отмечают анодный ток. Прирост анодного тока в миллиамперах определяет статическую крутизну характеристики в *ма/в*.



Фиг. 7-89. Измерение крутизны характеристики.

Фиг. 7-90. Испытание лампы на вакуум.

Испытание вакуума. Для испытания вакуума лампа включается в схему, аналогичную схеме измерения эмиссии или крутизны характеристики, причем отрицательное напряжение на управляющей сетке должно соответствовать выбору нормальной рабочей точки. Заметив величину анодного тока, вводят в цепь управляющей сетки сопротивление в 1 *мгом* (фиг. 7-90) и наблюдают за изменением анодного тока. Если по причине плохого вакуума в баллоне лампы имеются положительные ионы, то, устремляясь к катоду, они частично передают свой положительный заряд управляющей сетке и она становится менее отрицательной, вследствие чего анодный ток возрастает. В испытателях ламп, снабженных приспособлением для испытания вакуума, высокоомное сопротивление в цепи сетки шунтируется специальной кнопкой, при нажатии которой оно размыкается.

Динамическое испытание ламп в радиомастерских производится упрощенно и состоит в проверке работоспособности лампы включением ее в подходящий каскад действующего приемника или усилителя. При этом по лампе постукивают резиновым молоточком, проверяя, не создает ли она слышимых в громкоговорителе тресков или звона.

Тестер-анализатор. Этот прибор полезен не только как испытатель ламп, но и как анализатор, позволяющий быстро измерить рабочие режимы ламп в любом радиоаппарате, не вскрывая последнего.

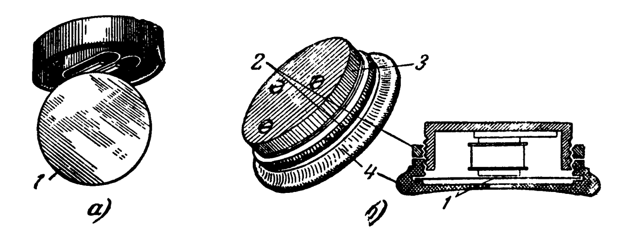
Характерной деталью тестера-анализатора является переходная промежуточная колодка, включаемая вместо исследуемой лампы в соответствующую ламповую панельку приемника или усилителя. Сама же лампа включается уже в панельку, укрепленную в зависимости от конструкции тестера либо на переходном цоколе, либо на панели тестера. Переходный цоколь соединен проводами с тестером таким образом, что все напряжения и токи, поступающие на исследуемую лампу, подаются и на тестер и могут быть измерены с помощью вмонтированного в него переключаемого вольтамперметра.

Длинные провода, соединяющие переходной цоколь с самим тестером, вызывают значительную расстройку в высокочастотных цепях, а также приводят к образованию паразитных связей, так что в усилителях высокой и промежуточной частоты, а порою и в первом каскаде усиления низкой частоты такой тестер не всегда применим.

Испытание электроакустических приборов. Полные испытания громкоговорителей, звукоснимателей, микрофонов и прочих электроакустических приборов со снятием их частотных характеристик, измерением коэффициента нелинейных искажений и т. п. осуществимы лишь в специальных лабораториях. В практике же радиомастера все электроакустические приборы с помощью простейших приспособлений подвергаются предварительному испытанию, а потом прослушиваются в работе.

Головные телефоны. Предварительное испытание заключается в проверке каждой катушки телефона на целость, измерении их сопротивлений, проверке исправности шнура со штепсельной вилкой и испытании силы магнитов. Стальная мембрана, прислоненная ребром к торцам полюсных наконечников, должна ими хорошо удерживаться (фиг. 7-91,*а*). Если мембрана падает, то магниты необходимо намагнитить (например, проводя по ним сильным постоянным магнитом).

Испытание телефонов в работе производится подачей к ним напряжения (5 *в*) низкой частоты от звукового генератора или приемника. Если на какой-нибудь частоте при напряжении 5 *в* появляется дребезжание, то это свидетельствует о слишком близком расположении мембраны к полюсным наконечникам. В этом случае необходимо подложить под мембрану бумажное кольцо или отрегулировать ее положение вращением регулировочной гайки (фиг. 7-91,*б*), специально предусматриваемой для этой цели в некоторых конструкциях телефонов. Слишком сильно отодвигать



Фиг. 7-91. Испытание телефонной трубки.

а — проверка постоянного магнита; *б* — регулирование величины зазора между мембраной и полюсными наконечниками (*1* — стальная мембрана, *2* — контргайка, *3* — корпус, *4* — крышка с мембраной).

мембрану от полюсных наконечников нельзя, так как это приводит к резкому снижению чувствительности телефонов.

Громкоговорители, в том числе и электродинамические, испытываются аналогичными методами: предварительное испытание состоит в проверке на целость катушек и в измерении их сопротивлений постоянному току. Следует также проверить отсутствие замыкания катушек и их выводов на металлический корпус, так как последний довольно часто заземляется в монтаже аппаратуры. Если громкоговоритель снабжен выходным трансформатором, то надо убедиться и в его исправности.

Затем к громкоговорителю подают нормальное для его работы напряжение от генератора низкой частоты и, изменяя частоту от нескольких десятков герц до 10—15 *кгц*, прослушивают качество звучания громкоговорителя. Резкое увеличение громкости на отдельных частотах свидетельствует о наличии ярко выраженных собственных резонансов. Дребезжание вызывается порванным диффузором или плохим центрированием подвижной системы. Последнее у электромагнитных громкоговорителей устраняется вращением винта, центрирующего стальной якорь, а у электродинамических громкоговорителей — перезакреплением центрирующей шайбы в такое положение, при котором звуковая катушка не задевает поверхностей, образующих магнитный зазор.

Звукосниматели испытываются прослушиванием граммзаписи на исправном усилителе низкой частоты. Для испытания звукоснимателей выпускаются специальные частотные граммпластинки, на которых записаны тона различных частот при одинаковой амплитуде колебаний. Располагая усилителем низкой частоты с выверенной частотной характеристикой, при помощи этих пластинок нетрудно снять частотную характеристику звукоснимателя, сравнивая измеренные точным вольтметром на выходе усилителя амплитуды воспроизведения им различных частот.

Нелинейные искажения проявляются в форме дребезжащих звуков, которые обнаруживаются при воспроизведении указанных граммпластинок. Их причиной у пьезоэлектрических звукоснимателей чаще всего бывает излом кристалла, который тогда необходимо заменить, а у электромагнитных — плохое центрирование якоря между полюсными наконечниками.

Причиной нелинейных искажений может быть и потеря упругости резиновой трубки (демпфера), надетой на детали подвижной системы якоря, а также задевание деталями подвижной системы (в том числе и винтом для зажимания иглы) за корпус звукоснимателя или другие неподвижные части. Эти неисправности устраняются перебором системы звукоснимателя или заменой отдельных частей. Следует иметь в виду, что от свойств амортизирующей якорь резины в сильной мере зависит частотная характеристика звукоснимателя. В заводских звукоснимателях применяется для этой цели резина специальных сортов.

Пониженная отдача у пьезоэлектрических звукоснимателей вызывается порчей кристалла, и у электромагнитных — слишком большим зазором между полюсными наконечниками или, что бывает сравнительно редко, замыканием части витков катушки. Последнее можно обнаружить по уменьшению сопротивления катушки.

Микрофоны. При отсутствии специальной аппаратуры наилучший способ проверки любого микрофона — испытание его в действии. В качестве предварительного испытания, кроме внешнего осмотра, у угольных и электродинамических микрофонов можно измерить их сопротивления. Средняя отдача микрофонов измеряется с помощью усилителя низкой частоты с известным коэффициентом усиления. Измерив напряжение на выходе такого усилителя, надо это напряжение разделить на коэффициент усиления усилителя и результат этот разделить на коэффициент трансформации микрофонного трансформатора, если микрофон подключается ко входу усилителя через трансформатор.

Испытание источников питания и преобразователей. *Испытание источников тока* (гальванических элементов, батарей и аккумуляторов). Раньше чем присоединить те или иные источники тока к радиоаппарату, надо убедиться в их работоспособности. Для этого прежде всего измеряют напряжение на их зажимах, одновременно проверяя их полярность. Затем надо проверить, не слишком ли падает их напряжение под нагрузкой, для чего, не отключая вольтметра, к зажимам источника присоединяют нагрузочное сопротивление такой величины, чтобы через него проходил ток, в 2 раза больший тока, потребляемого радиоаппаратом. Допустимым снижением напряжения на зажимах источника при этом считают 20% для сухих элементов и батарей и 10% для аккумуляторов.

Испытание вращающихся и контактных преобразователей тока. Испытанию этих преобразователей под нагрузкой должна предшествовать проверка доброкачественности их основных частей (внешний осмотр монтажа, проверка первичных цепей на токопрохождение, а вторичных — на отсутствие коротких замыканий). После этого первичные зажимы преобразователя присоединяют к источнику тока, а зажимы вторичной цепи подключают на соответствующие мощности преобразователя сопротивлением. Для контроля вторичного напряжения включается вольтметр, а если нагрузочное сопротивление переменное, то для измерения тока включается амперметр (при постоянном нагрузочном сопротивлении величина тока определяется по сопротивлению и напряжению). Нагрузочное сопротивление выбирается, исходя из номинальных значений вторичного напряжения и тока преобразователя.

Для проверки к. п. д. преобразователя в первичную цепь также включают амперметр и вольтметр и по показаниям четырех приборов рассчитывают к. п. д. (в процентах) по формуле

$$\eta = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1}, \quad (7\text{-}38)$$

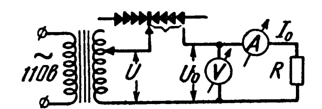
где U_2 и I_2 — напряжение и ток во вторичной, а U_1 и I_1 — напряжение и ток в первичной цепи.

Испытание твердых выпрямителей. Купроксные и селеновые столбики и шайбы проще всего можно проверить измерением их прямого и обратного сопротивления омметром, но напряжение питающего омметр источника

тока не должно превышать максимально допустимое напряжение для испытываемых выпрямителей (для купроксной шайбы оно не должно превышать 4—5 *в*, а для селеновой шайбы 15—20 *в*).

Важны не столько абсолютные значения обратного и прямого сопротивлений, сколько их отношение $\frac{R_{обр}}{R_{пр}}$, которое не должно быть менее 100—300: у хороших купроксных и в особенности у селеновых шайб это отношение может быть 5 000 — 10 000.

Если купроксные или селеновые шайбы набраны в столбики, то разумней всего проверить сопротивление каждой шайбы в отдель-



Фиг. 7-92. Схема испытания выпрямительного столбика.

ности, так как внутри столбиков могут оказаться неисправные шайбы. При этом надо проследить, не образуют ли отдельные участки столбика параллельных ветвей (если столбик снабжен более чем двумя выводами и между ними имеются перемычки, то на время измерения сопротивления столбиков эти перемычки надо снять).

Однако по одной лишь проверке прямого и обратного сопротивлений нельзя судить о доброкачественности твердых выпрямителей. Для полноты испытания надо проверить их в работе на однополупериодное выпрямление, причем секционированные столбики, предназначенные для работы по двухполупериодной схеме или по схеме моста, а также столбики с параллельными ветвями освобождают от перемычек и испытывают по секциям (фиг. 7-92). В качестве нагрузочного сопротивления включается переменное или специально подобранное постоянное сопротивление R. Необходимое для питания выпрямителя переменное напряжение U определяется перемножением числа последовательно соединенных в испытываемой секции шайб на число 8 (для купроксных) или на число 14 (для селеновых). Выпрямленное напряжение U_0 при отсутствии конденсатора должно составлять 0,45 приложенного переменного напряжения. Максимальный выпрямленный ток I_0 в миллиамперах определяется в зависимости от диаметра шайб по формуле

$$I_0 = k \cdot d^2, \qquad (7\text{-}39)$$

где d — диаметр шайбы, *мм*, и k — коэффициент, зависящий от свойств выпрямителя и его схемы.

В среднем при однополупериодном выпрямлении для купроксных шайб $k = 0{,}1$, а для селеновых $k = 0{,}2$. Тогда необходимое нагрузочное сопротивление при испытании столбиков определяется по формуле

$$R_н = \frac{U_0}{I_0} = \frac{450\,U}{k \cdot d^2}. \qquad (7\text{-}40)$$

10. ПРИНЦИПЫ МОНТАЖА РАДИОАППАРАТУРЫ

При монтаже радиоприборов следует различать четыре вида электрических цепей: 1) цепи питания постоянным током, 2) цепи питания переменным током частоты электросети (50 или 100 *гц* [1]) при неслишком низком напряжении, 3) цепи звуковой частоты и 4) высокочастотные цепи.

Наводимые посторонними полями потенциалы в проводах первых двух видов цепей ничтожно малы по отношению к существующим в них потенциалам, постоянным или сетевой частоты, чтобы можно было говорить о влиянии на последние этих посторонних полей. Кроме того, провода, несущие постоянный ток, не влияют на соседние с ними другие провода. Это относится и к проводам сетевой частоты, если напряжение на них измеряется лишь единицами вольт. Если же оно больше, то эти провода могут наводить в соседних проводах звуковой частоты (особенно сеточных) напряжение, проявляющееся в виде слышимого в громкоговорителе фона переменного тока.

Влияние посторонних полей сказывается в проводах, несущих низкое напряжение звуковой частоты, а при достаточно высоком напряжении эти провода сами могут излучать заметные электрические поля звуковых частот.

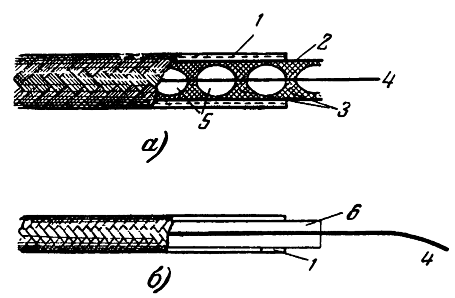
Еще большей чувствительностью к посторонним полям обладают провода высокочастотных цепей и сами они еще сильнее излучают поля, чем провода низкочастотных цепей.

Чем больше каскадов усиления включено после того или иного проводника, несущего токи высокой или звуковой частоты, и чем этот проводник длиннее, тем опаснее влияние на него внешних полей. С другой стороны, чем больше каскадов усиления включено до него, тем в нем получается большее напряжение и тем сильнее его излучение. Поэтому, начиная с определенной длины проводника, в цепях

[1] Частота 100 *гц* получается при двухполупериодном выпрямлении обычного переменного тока электросети, характеризуя переменную составляющую выпрямленного тока.

высокой и низкой частоты нельзя обойтись без его экранирования.

В каждом каскаде к посторонним полям звуковой и высокой частоты наиболее чувствительны провода, соединенные с управляющей сеткой, анодом и теми из электродов лампы, к которым подводится напряжение звуковой или высокой частоты. К этой же группе проводов относятся отводы катушек и трансформаторов, которые ни непосредственно, ни через конденсатор большой емкости не соединены с землей (корпусом) или проводом ми-



Фиг. 7-93. Экранированные провода.

а — высокочастотные; *б* — низкочастотные (*1* — броня, *2* — изоляционная трубка, *3* — изолирующие кольца или бусы, *4* — проводник, *5* — воздух, *6* — изоляция).

нуса анодного напряжения. Все же провода, идущие к источникам питания, относятся к цепям первых двух категорий и в общем случае на них не сказывается влияние полей ни высокой, ни звуковой частоты.

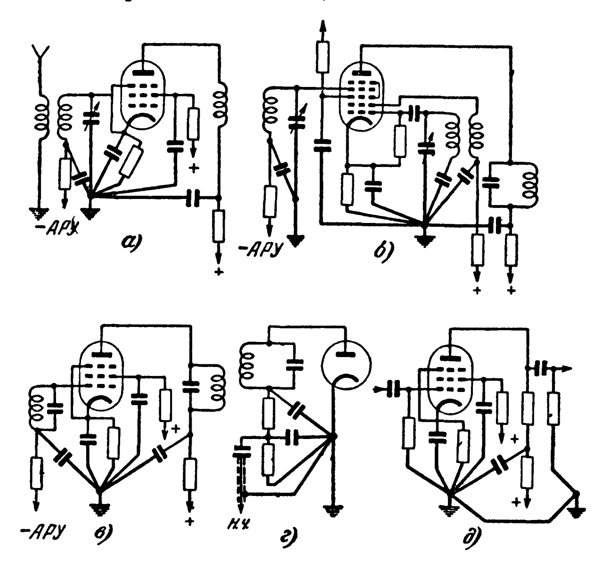
Все провода, несущие токи звуковой и высокой частоты, должны быть как можно короче и прокладывать их надо по возможности прямолинейно. При длине провода больше 40—50 *мм* и если смежные провода идут к каскадам с большой разницей усиления (один-два каскада), необходимо эти провода экранировать.

Характер экранирования определяется частотой проходящего по проводам тока и внутренним сопротивлением его источника (внутренним сопротивлением лампы, сопротивлением колебательного контура и т. п.). Высокая частота требует экранирующих оболочек с ничтожной емкостью, в противном случае возникает опасность чрезмерного затухания и расстройки контуров слишком большой и, вдобавок, низкокачественной обычно емкостью. Экранированные провода с незначительной собственной емкостью имеют металлическую броню относительно большого диаметра (примерно 6—10 *мм*) и сколь возможно тонкую (0,3—0,1 *мм*) проволочную жилу (фиг. 7-93,*а*). Чем толще проволочная жила, тем больше должен быть диаметр экранирующей оболочки, чтобы получалась та же емкость. Провода с токами звуковой частоты менее требовательны к качеству экранирования (фиг. 7-93,*б*), так как собственная емкость провода вызывает затухание в соответствии с низкой частотой только при значительной его длине, притом затухание сказывается прежде всего при высших звуковых частотах. В усилителях с широкой полосой частот экранирование с большой емкостью искажает частотную характеристику усилителя, сильно срезая высшие частоты. Поэтому и здесь приходится применять укороченные соединения высокочастотным экранированным проводом.

Провода питания постоянным током и переменным током низкого напряжения (для нитей накала ламп сетевых приемников) можно объединять в жгуты. В эти жгуты можно также вплетать и экранированные провода с токами звуковой частоты, но нельзя вплетать провода, входящие в колебательный контур и несущие высокочастотные токи, даже если они экранированы. Провода цепи накала при последовательном соединении нитей накала, как и вообще провода, находящиеся под значительными сетевыми переменными напряжениями, следует прокладывать на максимальном расстоянии от всех чувствительных к звуковой частоте деталей и вплетать их в жгуты проводов питания не следует. При питании накала ламп переменным током низкого напряжения лучше оба провода накала вести отдельным жгутом.

Все экранирующие оболочки должны быть эффективно заземлены, так как иначе они совершенно не достигают своей цели. Места их заземлений должны быть тщательно продуманы. В приборах, генерирующих или усиливающих высокочастотные колебания, заземляющий провод надо рассматривать как часть колебательного контура. Если он явится общим для нескольких контуров, то индуктивность, присущая даже прямым проводам, вызовет в нем общее падение напряжения и, следовательно, создаст увеличивающуюся с частотой связь (часто нежелательную), которую с трудом можно обнаружить. Это относится, впрочем, не только к заземляющему проводу, но и ко всем проводам, питающим лампы, если они являются общими для нескольких каскадов. Единственно правильное решение — это свести все заземляющие соединения, принадлежащие одному контуру и одному каскаду усиления (если даже соединение с землей производится через конденсаторы, как на фиг. 7-94), в одну точку на катоде соответственной лампы. Для звуковой и высокой частоты катод

образует нулевую точку каждого усилительного каскада и он всегда должен быть соединен непосредственно или, если это невозможно



Фиг. 7-94. Соединение проводов, подлежащих заземлению, в одной точке.

а — усилитель высокой частоты; *б* — преобразователь частоты; *в* — усилитель промежуточной частоты; *г* — диодный детектор; *д* — усилитель низкой частоты.

из-за находящихся в цепи катода сопротивлений, через конденсатор с шасси. Исключение составляют только схемы с отрицательной обратной связью, напряжение которой выделяется в цепи катода, генераторы с катушкой обратной связи в цепи катода и усилители с катодным выходом.

При монтаже любого радиоаппарата надо помнить следующее.

1. Опасность влияния посторонних полей на проводник тем больше, чем больше каскадов последующего усиления, чем больше сопротивление переменному току между данной точкой и землей и чем длиннее провода.

2. Влияние поля проводника на другие провода возрастает с величиной предшествующего усиления в зависимости от тех же факторов.

3. Опасность нежелательной обратной связи тем больше, чем больше разница в усилении между данными цепями и чем больше сопротивление, по которому совместно проходят токи различных каскадов (например, внутреннее сопротивление их источника); примером тому может служить вызывающее низкочастотный вой сопротивление анодных батарей, увеличивающееся при их старении. Положительная обратная связь возникает, когда налагающиеся друг на друга переменные токи приблизительно совпадают по фазе; она вызывает сначала повышение усиления, а затем генерацию. Если между налагающимися друг на друга напряжениями сдвиг фаз равен при-

Условные обозначения

1. Провода, не чувствительные к постоянным полям и сами не излучающие:

□ — высокой частоты (при отсутствии непосредственного соединения с корпусом соединяются с ним через конденсатор емкостью от 5 000 *пф* до 0,1 *мкф*).

■ — низкой частоты (заземляющий конденсатор емкостью 0,1 — 50 *мкф*).

2. Провода, чувствительные к внешним полям:

— высокой частоты (в порядке уменьшения чувствительности);

— промежуточной частоты,

— низкой частоты;

3. Провода, создающие поля:

— высокой частоты (в порядке ослабления излучения);

— промежуточной частоты;

— низкой частоты;

— высокой частоты, при тех или иных особенностях схемы.

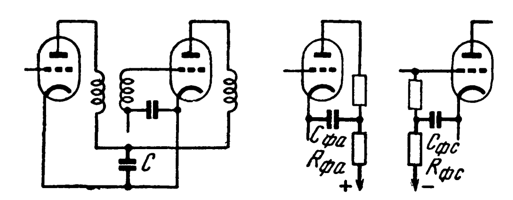
А
Б
В
а)
НЧ
АРУ
б)

Фиг. 7-95. К вопросу о паразитных связях в радиоприемнике.

а — приемник прямого усиления (*1* — наиболее опасная высокочастотная обратная связь, *2* — наиболее опасная низкочастотная паразитная связь, *А* — высокочастотная часть при отсутствии обратной связи в детекторном каскаде, *Б* — при регенеративном детекторе, *В* — низкочастотная часть приемника); *б* — высокочастотная часть супергетеродина.

близительно 180°, то возникает отрицательная обратная связь и как следствие ее (иной раз желательное, а часто нежелательное) уменьшение усиления.

4. Для предотвращения паразитных связей (фиг. 7-95) из-за взаимодействия полей нужно применять экранированные провода: для токов звуковой частоты — низкочастотный



Фиг. 7-96. Устранение паразитной связи через общий источник питания.

В каскадах высокой и промежуточной частоты $R_{фа} = 1 \div 10$ *ком*; $C_{фс} = 0{,}1 \div 0{,}5$ *мгом*; $C_{фа} = 0{,}01 \div 0{,}1$ *мкф*; $C_{фс} = 0{,}005 \div 0{,}1$ *мкф*. В каскадах низкой частоты: $R_{фа} = 20 \div 100$ *ком*; $R_{фс} = 0{,}2 \div 1$ *мгом*; $C_{фа} = 0{,}1 \div 4$ *мкф*; $C_{фс} = 0{,}5 \div 50$ *мкф*.

экранированный провод, а для источников напряжений высокой и звуковой частоты с большим внутренним сопротивлением — высокочастотный экранированный провод.

5. Для предотвращения паразитных связей через общие цепи питания служат развязывающие фильтры (фиг. 7-96), конденсаторы которых должны приключаться непосредственно к источникам низкой или высокой частоты, от которых требуется развязка.

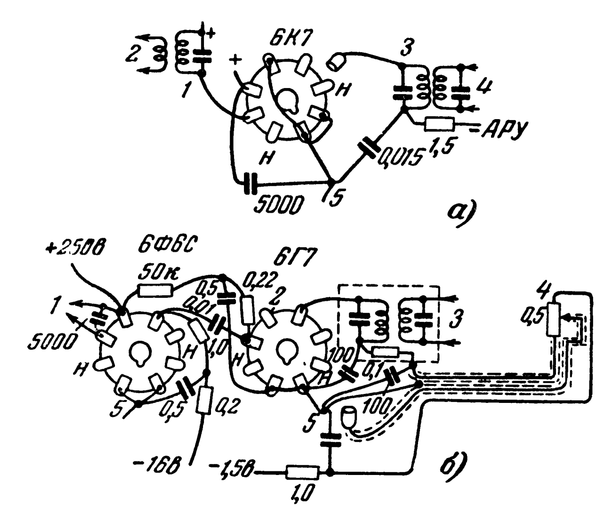
6. Для предотвращения паразитных связей через общие заземляющие провода необходимо все эти провода в каждом каскаде присоединять к одной специально выбранной точке металлического шасси. К этой же точке должны быть присоединены относящиеся к данному каскаду развязывающие конденсаторы. Если шасси изготовлено из изоляционного материала, то точки заземления различных каскадов должны быть соединены между собой и с гнездом заземления одним достаточно толстого диаметра (0,5—1,5 *мм*) проводом, по возможности прямым и коротким.

7. Заземление высокочастотных каскадов с контурами, настраивающимися конденсаторами переменной емкости, лучше всего производить в точке заземления ротора конденсатора. К этой же точке нужно присоединить возможно более коротким и прямым путем соответствующие концы контурных катушек и входящих в контур постоянных и подстроечных конденсаторов.

Некоторые вопросы техники монтажа радиоаппаратуры объяснены на фиг. 7-97, а примеры правильного монтажа радиоаппаратуры приведены на фиг. 7-98.

Фиг. 7-97. Некоторые детали техники монтажа радиоапаратуры.

а — заделка концов проводов; *б* — соединение проводов в одной точке (*1* — на изолированном лепестке, *2* — на проводе, *3* — спираль из медного провода диаметром 0,5 *мм*); *в* — крепление электролитических конденсаторов (*1*—к вертикальной панели, *2* — к горизонтальной панели, *3* — пресшпан, *4* — скоба, *5*—контактный лепесток); *г*— проход провода через металлическую панель; *д* — удлинение оси.



Фиг. 7-98. Примеры правильного монтажа.

а—каскада промежуточной частоты (1—анодный контур промежуточной частоты, 2—к детектору, 3—сеточный контур промежуточной частоты, 4 — преобразователь, 5 — к корпусу); б—низкочастотная часть супергетеродинного приемника (1 — к выходному трансформатору, 2 — диод АРУ, 3 — от усилителя промежуточной частоты, 4 — регулятор громкости, 5 — к корпусу).

11. ОБНАРУЖЕНИЕ И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Ремонту приемника предшествует более или менее трудоемкая работа по обнаружению его неисправностей. Поэтому ниже излагаются основные правила и порядок систематического исследования приемников. Испытаниям, аналогичным обнаружению дефектов в неисправном радиоаппарате, подвергается и всякий вновь смонтированный аппарат перед первым включением его.

Общие методы обнаружения неисправностей. При отсутствии явных и грубых неисправностей, выявляющихся при внешнем осмотре аппарата, нужно испытать его в работе. Схема предварительного испытания приемника показана на фиг. 7-99 сверху, а схема последовательной проверки с помощью генераторов высокой и низкой частоты дана на той же фигуре снизу.

Перед включением под напряжение надо проверить аппарат на отсутствие в нем короткого замыкания в анодных цепях. Для этого достаточно снять заднюю крышку приемника и отрицательный полюс анодных цепей взять с гнезда заземления, шасси, металлических корпусов деталей или экранов, положительный же полюс можно взять с лепестков выходного или силового трансформатора, электролитических конденсаторов сглаживающего фильтра или панельки кенотрона. Поскольку в этих цепях могут быть применены электролитические конденсаторы, то омметр надо присоединять, соблюдая полярность анодной цепи. Исследуемый приемник или усилитель можно включить под напряжение, если омметр покажет сопротивление не менее десятков тысяч ом, причем источник питания (или штепсельная розетка) должен быть защищен плавким предохранителем.

При включении приемника могут сразу выявиться очевидные неисправности, например самовозбуждение, проявляющееся в виде издаваемого громкоговорителем свистящего или урчащего звука, сильное прослушивание фона переменного тока и т. п. Наиболее неприятным дефектом является самовозбуждение (о методах обнаружения и устранения причин его см. на стр. 192). Но чаще при первом включении неисправные приемники не издают никаких звуков, внушающих подозрения. Тогда нужно присоединить антенну и, если приемник молчит или работает слабо, проверить его низкочастотную часть, прикоснувшись металлическим предметом или просто пальцем к сеточному колпачку входной лампы усилителя низкой частоты или к сеточному гнезду звукоснимателя; при исправном усилителе низкой частоты громкоговоритель должен издать при этом довольно громкий щелчок. Если приемник или усилитель молчит, надо проверить исправность выпрямителя.

Типичные неисправности силовой части сводятся к следующему.

1. Отсутствуют анодное и накальное напряжения из-за неисправности предохранителя, выключателя или переключателя сетевого напряжения, а также из-за обрыва в цепи первичной обмотки силового трансформатора. В приемниках универсального питания это может быть из-за перегорания нити накала любой лампы или из-за обрыва в цепи накала (например, при отсутствии контакта в ламповых панельках).

2. Напряжение накала понижено или повышено из-за неправильной установки переключателя сетевого напряжения или в результате замыкания части витков в трансформаторе.

3. Отсутствует анодное напряжение по причине выхода из строя вентиля, конденсатора сглаживающего фильтра или конденсатора, блокирующего высоковольтную обмотку силового трансформатора.

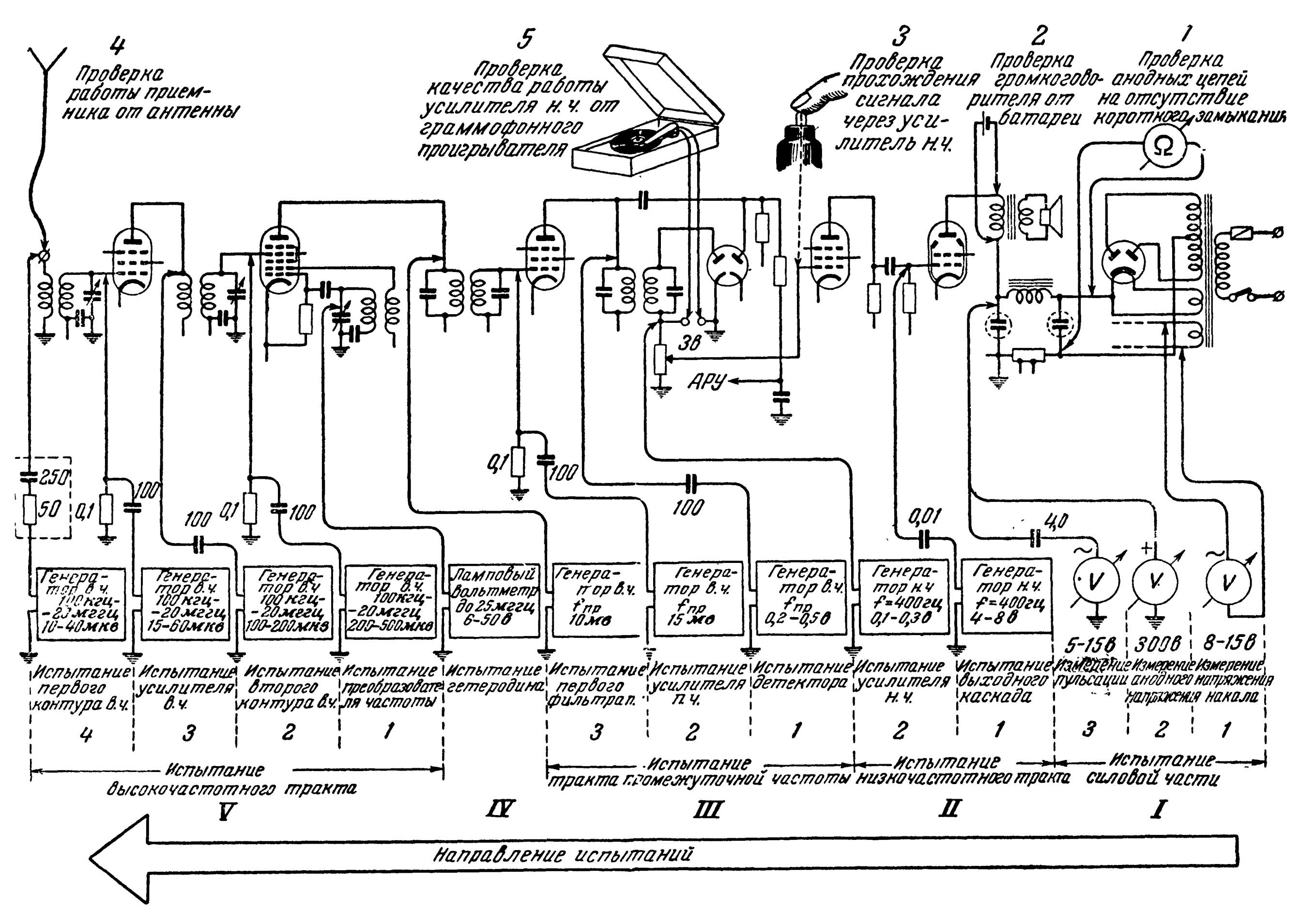
4. Анодное напряжение понижено из-за потери эмиссии кенотроном, большой утечки у сглаживающих пульсацию конденсаторов и неисправности высоковольтной обмотки силового трансформатора.

5. Большая пульсация выпрямленного напряжения из-за неисправности конденсаторов сглаживающего фильтра.

Более сложные неисправности в силовой части приемника встречаются редко и в таких случаях нужно подвергнуть все детали выпрямителя полным испытаниям, которые были описаны в § 7 настоящей главы.

Покаскадную проверку приемника при полном его бездействии или при недостаточно отдаваемой им мощности начинают с громко-

Всякий раз при переходе к предыдущему каскаду для достижения прежней громкости на выходе подаваемое от генератора напряжение должно уменьшаться в 10—100 раз. Если при переходе к какому-нибудь предыдущему каскаду напряжение генератора приходится увеличивать, то это говорит о неисправности этого каскада.



Фиг. 7-99. Порядок проверки работы радиоприемника.

Указанные величины напряжений, подводимых от генераторов, соответствуют получению 30% выходной мощности. Для выявления неисправного каскада испытания *I-3*, *II-2*, *III-1*, *III-3*, *IV*, *V-2* и *V-3* можно не производить. При покаскадной проверке приемника полезно включить на выход усилителя низкой частоты вольтметр переменного тока (через конденсатор емкостью 0,1 — 2 *мкф* в зависимости от сопротивления вольтметра). Измеренное напряжение пульсации [испытание (*I-3*)] не должно составлять более 0,2 — 0,5% от полного анодного напряжения. Если при проверке анодных цепей (проверка *1*) омметр покажет сопротивление не менее 20 *ком*, то можно включить питание.

говорителя (испытание, с помощью батареи или звукового генератора).

Затем исследуют оконечную лампу, подавая на ее сетку (параллельно сеточному сопротивлению или трансформатору) незначительное (порядка нескольких вольт) переменное напряжение. Подобным же образом, но только еще меньшими напряжениями испытывают входные каскады низкочастотной части приемника.

Приближение к неисправному месту в каскадах промежуточной и высокой частоты начинают тоже в направлении от конца к началу, т. е. от детектора к антенне. При этом частоту модулированного сигнал-генератора устанавливают в соответствии с собственной частотой колебательных контуров промежуточной и высокой частоты и напряжение от генератора подводят к сеткам соответствующих ламп. Прекращение прохождения сигнала или

отсутствие усиления какого-либо каскада и определяет участок схемы или каскад, в которых нужно искать повреждение.

Наиболее распространенными причинами появления искажений являются неисправность громкоговорителя, замыкание части витков первичной обмотки выходного трансформатора, выделение газа в оконечной лампе (в стеклянном баллоне при этом видно яркое голубое свечение), неподходящее напряжение сеточного смещения или обрыв в сеточной цепи одной из ламп усилителя низкой частоты и перегрузка этого усилителя из-за плохой работы системы АРУ. Путем поочередного испытания громкоговорителя, оконечной лампы предварительных каскадов усиления низкой частоты (от звукового генератора) и затем всего усилителя низкой частоты (от проигрывателя), а также каскадов усиления промежуточной частоты, преобразователя, усилителя высокой частоты и входных антенных цепей (от модулированного сигнал-генератора) определяют вносящий искажения каскад.

Неисправность высокочастотных генераторов (в том числе гетеродинов приемников) определяется измерением ламповым вольтметром или электронно-оптическим индикатором (фиг. 7-99) амплитуды генерируемых ими колебаний на всех участках всех диапазонов.

Определив неисправный каскад, нетрудно уже обнаружить и неисправную в нем деталь.

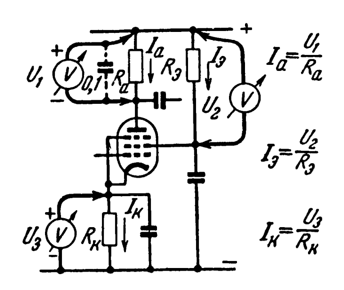
В основе дальнейших испытаний, имеющих целью выявление неисправной детали, лежат два метода: измерение рабочего режима ламп и исследование каскада на рабочих частотах.

Измерение рабочего режима ламп. Под рабочим режимом лампы понимается совокупность приложенных к ее электродам постоянных напряжений и проходящих в их цепях постоянных токов. Для каждой лампы того или иного каскада конкретного приемника, усилителя или другого аппарата существует определенный оптимальный режим, в расчете на который сконструирован данный аппарат; этот режим оговаривается изготовляющим аппарат заводом.

Для измерения токов в цепях электродов достаточно измерить напряжения на них и подсчитать токи по закону Ома (фиг. 7-100).

При пользовании амперметрами в цепях высокой и низкой частоты их надо включать ближе к заземленному по переменному току полюсу катушек, трансформаторов, сопротивлений и т. д. При измерении постоянного тока амперметры должны блокироваться конденсатором 0,005—0,05 *мкф* в цепях высокой и 0,1—1 *мкф* в цепях звуковой частоты.

Чтобы судить об истинных значениях напряжений, измерять напряжения на электродах ламп нужно только относительно катода и обязательно высокоомным вольтметром. Особенно трудно измерение истинных напряжений на управляющих сетках, так как в их цепях обычно включаются сопротивления порядка 1 *мгом*. При наличии таких сопротивлений измерять напряжение на сетке можно только ламповым вольтметром постоянного тока с входным сопротивлением не ниже 10—



Фиг. 7-100. Измерение токов вольтметром.

15 *мгом*. Если же такого вольтметра нет, то приходится довольствоваться измерением напряжения сеточного смещения на том сопротивлении, где оно выделяется (в цепи катода лампы или в цепи общего минуса). Вообще, чем больше сопротивление, на котором надо измерять напряжение, тем больше должно быть внутреннее сопротивление измерительного прибора. Если у вольтметра имеется несколько пределов измерения, то у наибольшего из них и внутреннее сопротивление всегда наибольшее.

Типовые оптимальные режимы ламп в приемно-усилительной аппаратуре приведены в табл. 7-11.

Измерив истинные значения напряжений и токов в испытываемом каскаде и сравнив их с оптимальным режимом, можно быстро установить такие неисправности, как изменение сопротивлений в анодной цепи и цепи экранной сетки, изменение сопротивления смещения, пробой конденсатора, блокирующего на землю любой из электродов, обрыв в анодной катушке или дросселе и т. п.

В усилителях низкой частоты при измерении рабочего режима ламп проверяются почти все детали; непроверенными остаются только разделительный конденсатор, связывающий анод предшествующей лампы с управляющей сеткой следующей лампы, сопротивления в цепи управляющей сетки и цепи отрицательной обратной связи, которые можно испытать отдельно при выключенном питании.

Таблица 7-11

Типовые режимы ламп в радиоприемниках

		Усилители высокой и промежуточной частот			Гетеродин (на отдельной лампе)			Одноламповый преобразователь частоты					Напряжение задержки АРУ, *в*	Предварительный усилитель низкой частоты			Оконечный усилитель низкой частоты		
		Напряжение сеточного смещения, *в*	Напряжение на экранной сетке, *в*	Напряжение на аноде, *в*	Напряжение сеточного смещения,[2] *в*	Напряжение на экранной сетке, *в*	Напряжение на аноде, *в*	Напряжение на управляющей сетке, *в*	Напряжение на экранной сетке, *в*	Напряжение на аноде, *в*	Напряжение на сетке гетеродина[2], *в*	Напряжение на аноде гетеродина, *в*		Напряжение сеточного смещения, *в*	Напряжение на экранной сетке, *в*	Напряжение на аноде, *в*	Напряжение сеточного смещения, *в*	Напряжение на экранной сетке, *в*	Напряжение на аноде, *в*
Приемники с питанием от сети переменного тока	Ходовые типы ламп	6К3, 6К7, 6К9С, 6Ж4, 6Л7			6С2С, 6С5, 6Ж7, 6Ж8, 6Ж3П, 6А7			6А7, 6А10С, 6А8, 6А2П					—	6С2С, 6С5, 6Г2, 6Г7, 6Н9С, 6Б8С, 6Ж7, 6Ж8, 6Ф5			6Ф6С, 6П3С, 6П6С, 6П9, 6П1П, 2С4С, 6Н7С		
		—2... ...—3	90... ...110	210... ...250	0	70... ...110	70... ...250	—2... ...—3	90... ...110	210... ...250	0	100... ...160	—2... ...—3	—1,5[3] —3... ...—8[4]	20... ...100	30... ...150	—12... ...—17[5]	210... ...260[6]	200... ...375
Приемники с бестрансформаторным питанием	Ходовые типы ламп[1]	6К3, 6К7, 6К9С			6С2С, 6С5, 6Ж7, 6Ж8, 6Ж3П, 6А7			6А7, 6А10С, 6А8, 6А2П					—	6Г2, 6Г7, 6С2С, 6Б8С, 6Ж7, 6Ж8			30П1С		
		—1... ...—2	70... ...110	90... ...110	0	70... ...110	70... ...110	—1... ...—2	70... ...110	90... ...110	0	90... ...110	—1... ...—2	0...—1[3] —2... ...5[4]	20... ...40	30... ...70	—7... ...—12	90... ...110	85... ...105
Батарейные приемники	Малогабаритные лампы	2Ж2М, 2К2М, СО-241			УБ-240, 2Ж2М, 2К2М, СО-241			СО-242					—	2Ж2М, 2К2М, УБ-240			СО-244, СО-258, 2Ж2М, СО-243		
	Пальчиковые лампы	1К1П, 1Б1П			1К1П, 1А1П			1А1П					—	1Б1П, 1К1П			2П1П		
Напряжение анодной батареи, *в*	100... ...200	0... ...—1,5	40... ...70	100... ...120	0	40... ...70	40... ...70	0... ...—1,5	40... ...70	100... ...120	0	100... ...120	0... ...—1,5	0... ...—1	15... ...70	20... ...100	—1,5... ...—4[5]	100... ...120	100... ...120
	45... ...70	0... ...—1	45... ...70	45... ...70	0	45... ...70	45... ...70	0... ...—1	45... ...70	45... ...70	0	45... ...70	0... ...—1	0... ...—1	15... ...45	20... ...70	—1... ...—3[5]	45... ...70	45... ...70

[1] Указаны лампы с током накала 0,3 *а*. [2] Напряжение, создаваемое за счет сеточных токов, не учтено. [3] В первом каскаде усиления низкой частоты. [4] В последующих (за первым) каскадах усиления низкой частоты. [5] Для ламп 2С4С смещение должно быть 40—45 *в*, для ламп 6П9 оно равно 3—4 *в* и для ламп 6Н7С и СО-243 в двухтактных схемах оно равно нулю. [6] Для ламп 6П9 равно 150 *в*.

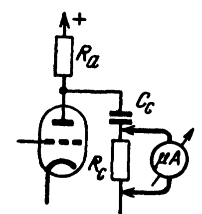
Проверить изоляцию разделительного конденсатора C_c при отсутствии мегомметра можно следующим образом (фиг. 7-101). Сначала надо вынуть из панельки лампу следующего после него каскада и присоединить параллельно ее сеточному сопротивлению R_c чувствительный миллиамперметр (со шкалой до 100 *мка*), а затем включить питание. В первый момент стрелка прибора может слегка отклониться (при зарядке конденсатора), но затем она должна вернуться точно на нуль. Если этого не получается, то конденсатор дает утечку, которая уменьшает отрицательное смещение следующей лампы и искажает ее режим. Приведенный способ проверки разделительного конденсатора на утечку применим к любому конденсатору, присоединенному одним концом непосредственно или через сопротивление к плюсу высокого напряжения. Для этого микроамперметр (со шкалой до 50—100 *мка*) должен включаться в разрыв одного из подходящих к конденсатору проводов.

Измерение рабочего режима ламп производится не только с целью обнаружения неисправных деталей, но является необходимейшей операцией при испытании вновь смонтированного аппарата. Если при этом получаются отступления от заданного режима более чем на 10—15%, то заменой соответствующих сопротивлений необходимо подогнать все напряжения до нормы.

На фиг. 7-102 и 7-103 приведены схемы измерения постоянных напряжений и токов в типовом супергетеродине.

Методы обнаружения и устранения неисправностей, вызванных наличием паразитных связей. Наряду с неисправностями деталей в радиоаппаратуре могут наблюдаться повреждения, вызванные наличием паразитных связей, что приводит чаще всего к искажениям, затягиванию[1], свистам, самовозбуждению и появлению фона переменного тока. Устранение этих неисправностей довольно часто представляет большие трудности, и успех дела сплошь и рядом зависит исключительно от опытности радиомастера. Изложенные выше методы систематического отыскания неисправностей в этих случаях применены лишь отчасти и далеко не всегда дают исчерпывающий ответ о причине неисправности.

Фон переменного тока. Причины, приводящие к появлению фона переменного тока, делятся на три основные группы: 1) попадание по цепям питания переменного тока в каскады низкой частоты, 2) влияние электрического и магнитного полей на низкочастотные цепи, обусловленное неудачным расположением отдельных проводов и деталей, и 3) наложение фона на высокочастотные цепи или модулирующий фон, слышимый только при настройке приемника на радиостанцию.



Фиг. 7-101. Испытание разделительного конденсатора C_c на утечку.

Наличие постоянно слышимого фона говорит о том, что он накладывается тем или иным путем на низкочастотные цепи приемника. Поэтому прежде всего следует проверить, достаточно ли сглаживается пульсация переменного тока фильтром выпрямителя. Для этого выверенный высоковольтный конденсатор емкостью 10—20 *мкф* (желательно на 1 000—1 500 *в*) присоединяют параллельно сначала ко второму, а потом к первому конденсаторам сглаживающего фильтра ремонтируемого приемника или усилителя (при некоторых схемах выпрямителей присоединение дополнительного конденсатора параллельно второму конденсатору может усилить фон переменного тока, но тогда увеличение емкости первого конденсатора ослабляет его). Если это дает желаемый эффект, то нужно заменить один или оба конденсатора сглаживающего фильтра или увеличить емкость конденсаторов в анодных или сеточных развязывающих фильтрах.

Если же такое мероприятие не вызывает заметного ослабления фона, то вернее всего имеет место вторая причина. Чтобы быстро обнаружить, в каком низкочастотном каскаде накладывается фон, вынимают одну за одной все лампы, начиная со входной и вплоть до предоконечной, и следят, при вынимании какой из них прекращается фон. Лампы оконечных каскадов при включенном питании вынимать нельзя, так как вызванное этим резкое снижение нагрузки выпрямителя приводит к значительному повышению анодного напряжения, что в свою очередь может вызвать пробой конденсаторов сглаживающего фильтра.

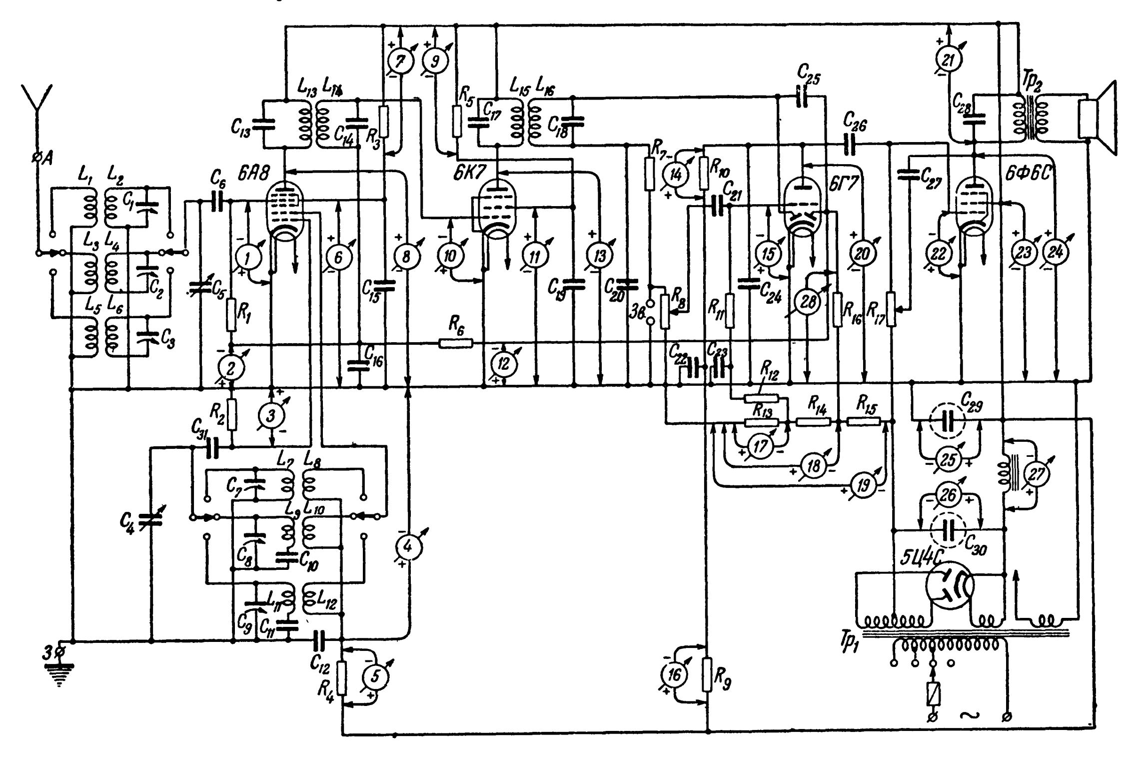
Причиной модулирующего фона также может быть плохое сглаживание пульсации напряжений, питающих высокочастотные лампы.

[1] Явление затягивания состоит в отклонении частоты колебаний гетеродина от резонансной частоты его колебательного контура, возникающем из-за наличия паразитной связи между входными контурами и цепями гетеродина или из-за влияния режима смесителя (изменяющегося при настройке на мощные передатчики) на режим гетеродина. Затягивание сказывается в непостоянстве градуировки шкалы настройки приемника.

Особенно чувствительны к этому входные каскады приемников (усилитель высокой частоты и преобразователь), а также гетеродин, в связи с чем для питания этих каскадов иногда устраивают дополнительную ячейку сглаживающего фильтра. Модулирующий фон переменного тока, прослушиваемый только при приеме местных станций, легко устраняется блокированием анода кенотрона на его катод или на землю (фиг. 7-104), а также блокированием плеч повышающей обмотки трансформатора конденсаторами C емкостью 0,005—0,01 *мкф*; рабочее напряжение этих конденсаторов должно быть не меньше утроенного напряжения плеча повышающей обмотки силового трансформатора (1 000—1 500 *в*)

Особо надо отметить способы устранения фона в аппаратуре с лампами прямого накала при питании их нитей переменным током. Тут необходимо точное симметрирование цепи накала, что не всегда обеспечивается устройством отвода средней точки накальной обмотки. Более эффективной мерой является включение между выводами нити низкоомного потенциометра, ползунок которого нужно рассматривать как вывод от катода лампы. Точное симметрирование нити осуществляется при включенном питании на слух установкой движка потенциометра в положение, при котором меньше всего слышен фон переменного тока.

Самовозбуждение. Для определения причины самовозбуждения сначала надо внима-



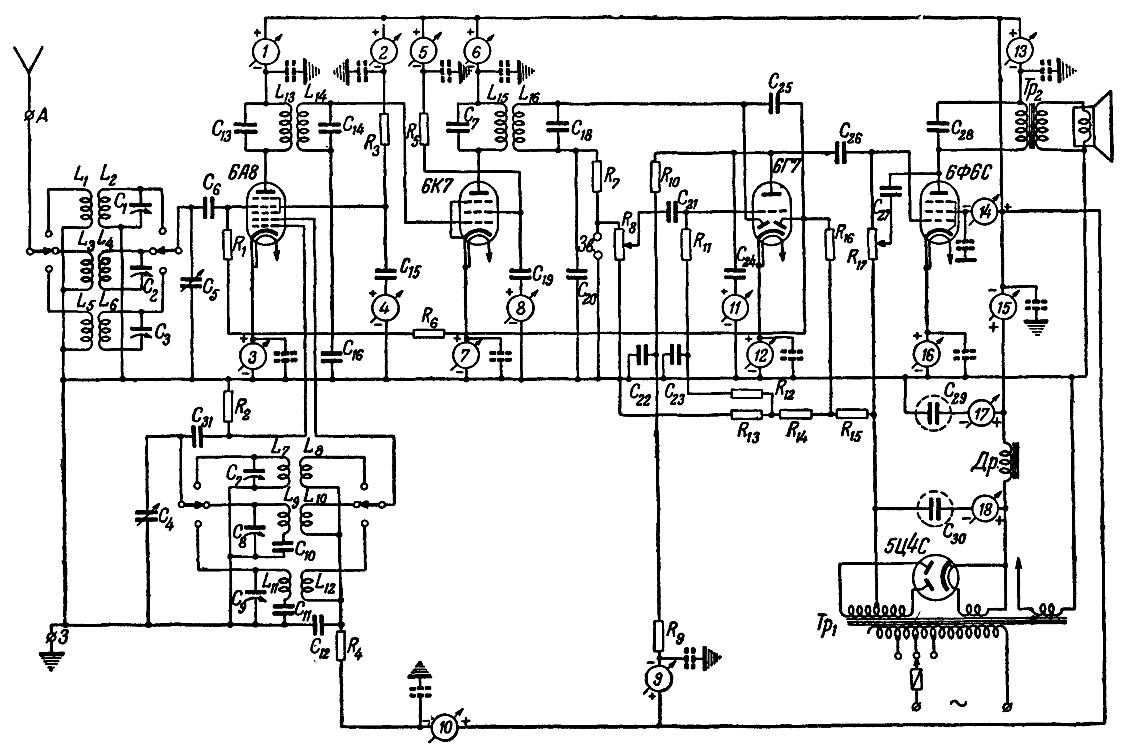
Фиг. 7-102. Измерение постоянных напряжений в супергетеродинном приемнике.

1 — на управляющей сетке лампы 6А8 (ламповый вольтметр со шкалой на 10 *в*); *2* — АРУ на управляющих сетках ламп 6А8 и 6К7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5 — 50 *в*); *3* — на гетеродинной сетке лампы 6А8 (ламповый вольтметр со шкалой на 5—50 *в*); *4* — на аноде гетеродина лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3 000 — 5 000 *ом/в* и шкалой на 200 *в*); *5* — на сопротивлении в аноде гетеродина лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3 000 — 5 000 *ом/в* и шкалой на 150 *в*); *6* — на экранной сетке лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3 000—5 000 *ом/в* и шкалой на 150 *в*); *7*—на сопротивлении в цепи экранной сетки лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3 000 — 5 000 *ом/в* и шкалой на 200 *в*); *8* — на аноде лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 1 000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *9* — на сопротивлении в цепи экранной сетки лампы 6К7 (вольтметр сопротивлением 3 000 — 5 000 *ом/в* и шкалой на 200 *в*); *10* — на управляющей сетке лампы 6К7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5—50 *в*); *11*—на экранной сетке лампы 6К7 (вольтметр с сопротивлением 3 000 — 5000 *ом/в* и шкалой на 200 *в*); *12*—АРУ (ламповый вольтметр со шкалой на 5—50 *в*); *13* — на аноде лампы 6К7 (вольтметр с сопротивлением 1 000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *14* — на сопротивлении анодной нагрузки лампы 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 15 000 — 20 000 *ом/в* и шкалой на 300 *в* или ламповый вольтметр постоянного тока со шкалой на 300 *в*); *15* — на сетке лампы 6Г7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5—10 *в*); *16* — на развязывающем сопротивлении в аноде лампы 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 20 000 *ом/в* и шкалой на 100 *в*); *17* — смещение на сетке лампы 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 100—200 *ом/в* и шкалой на 5 *в*); *18* — задержка АРУ (вольтметр с сопротивлением 100—200 *ом/в* и шкалой на 5 *в*); *19* —смещение на сетке лампы 6Ф6С (вольтметр с сопротивлением 100—200 *ом/в* и шкалой на 30—50 *в*); *20*—на аноде лампы 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 15 000 — 20 000 *ом/в* и шкалой на 150 *в*); *21* — на обмотке выходного трансформатора (вольтметр с сопротивлением 100 — 200 *ом/в* и шкалой на 30 *в*); *22* — на управляющей сетке лампы 6Ф6С (ламповый вольтметр со шкалой на 30 *в*); *23* — на экранной сетке лампы 6Ф6С (вольтметр с сопротивлением 1 000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *24* — на аноде лампы 6Ф6С (вольтметр с сопротивлением 1 000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *25* — на втором конденсаторе фильтра (вольтметр с сопротивлением 1 000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *26*—на первом конденсаторе фильтра (вольтметр с сопротивлением 1 000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *27* — на дросселе фильтра (вольтметр с сопротивлением 100 — 200 *ом/в* и шкалой на 100 *в*); *28* — задержки АРУ на аноде диода лампы 6Г7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5 *в*).

тельно прослушать работу приемника или усилителя при различных установках его органов управления (регуляторов громкости, тембра, настройки). По характеру звуков, вызванных самовозбуждением, и по влиянию, сказываемому различными регуляторами, часто можно определить характер паразитных связей, приведших к самовозбуждению, и его очаг.

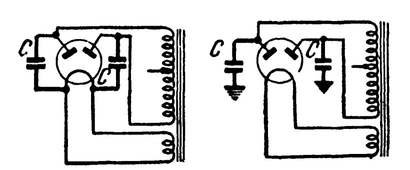
Так, например, звук, напоминающий шум моторной лодки, свидетельствует о самовозбуждении низкочастотного усилителя, вызванном связью его каскадов через общие цепи анодного питания. Для его устранения надо усилить развязку анодных цепей этого усилителя.

Звенящий вой, появляющийся при громком приеме коротковолновых станций и изменяющийся от постукивания по корпусу приемника, свидетельствует об акустическом влиянии громкоговорителя на вибрирующие детали гетеродинного контура. Для борьбы с этим явлением надо обнаружить вибрирующую деталь (последовательным постукиванием резиновым молоточком по всем деталям, проводам и лампам в схеме гетеродина) и прочнее закрепить или, наоборот, амортизировать вибрирующую деталь. Может также потребоваться замена отдельных деталей (лампы, блока конденсаторов переменной емкости) и амортизации громкоговорителя или шасси.



Фиг. 7-103. Измерение постоянных токов в супергетеродинном приемнике.

1 — в анодной цепи лампы 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 5 — 6 *ма*); *2*—в цепи экранной сетки лампы 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 5—6 *ма*); *3* — в цепи катода лампы 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 15 *ма*); *4* — проверка конденсатора C_{15} на пробой и ток утечки (для проверки на пробой—миллиамперметр со шкалой на 50 *ма*, для проверки утечки — микроамперметр со шкалой на 50 *мка*); *5* — в цепи экранной сетки лампы 6К7 (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); *6* — в анодной цепи лампы 6К7 (миллиамперметр со шкалой на 15 *ма*); *7* — в цепи катода лампы 6К7 (миллиамперметр со шкалой на 30 *ма*); *8*—проверка конденсатора C_{19} на пробой и утечку (для проверки на пробой — миллиамперметр со шкалой на 50 *ма*, для проверки на утечку — микроамперметр со шкалой на 50 *мка*); *9* — в анодной цепи лампы 6Г7 (миллиамперметр со шкалой на 1—3 *ма*); *10* — в анодной цепи гетеродина лампы 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 5 *ма*); *11*—проверка конденсатора C_{24} на пробой и утечку (для проверки на пробой—миллиамперметр со шкалой на 5—6 *ма*, для проверки на утечку—микроамперметр со шкалой на 50 *мка*); *12* — в цепи катода лампы 6Г7 (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); *13* — в анодной цепи лампы 6Ф6С (миллиамперметр со шкалой на 50 — 100 *ма*); *14* — в цепи экранной сетки лампы 6Ф6С (миллиамперметр со шкалой на 15 *ма*): *15* — ток, потребляемый лампами приемника от выпрямителя (миллиамперметр со шкалой на 100 *ма*); *16* — в цепи катода лампы 6Ф6С (миллиамперметр со шкалой на 50—100 *ма*); *17* — проверка конденсатора C_{29} на утечку (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); *18* — проверка конденсатора C_{30} на утечку (то же, что и для конденсатора C_{29}). Проверка конденсаторов на утечку производится только после проверки их на пробой.



Фиг. 7-104. Устранение модулирующего фона.

Сильные свисты, сопровождающие прием каждой станции на всех диапазонах, свидетельствуют о самовозбуждении усилителя промежуточной частоты (при этом теневой сектор электронно-оптического индикатора настройки даже при отсутствии приема в большей или меньшей мере сужен).

Таблица 7-12

Таблица наиболее распространенных видов самовозбуждения и способы их устранения

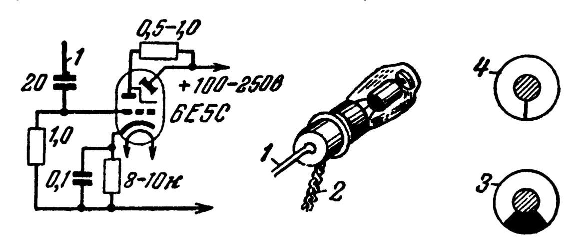
Неисправность	Важнейшие причины	Устранение
Беспрерывный свист	Самовозбуждение усилителя низкой частоты из-за наличия связи между его выходом и входом	Разнесение входных и выходных цепей, экранирование входных цепей
Моторный шум	Связь между низкочастотными каскадами через источник анодного питания	Усиление развязывания анодных цепей усилителя низкой частоты (фиг. 7-106)
Сильные искажения при двухтактном усилении низкой частоты	Высокочастотное самовозбуждение усилителя низкой частоты	·Применение мер, указанных на фиг. 7-107
Сильные свисты при приеме каждой станции	Самовозбуждение усилителя промежуточной частоты или всего приемника из-за связи выхода с цепями высокой частоты	Разнесение взаимодействующих цепей усилителя промежуточной частоты, экранирование сеточных и анодных проводов усилителя, а также применение мер, указанных на фиг. 7-108 и 7-109
Сильные свисты и шипение на отдельных диапазонах волн	Паразитная генерация в усилителе высокой частоты, преобразователе или гетеродине	Разнесение взаимодействующих цепей, экранирование их и включение сопротивлений по схеме фиг. 7-108
Микрофонный вой	Акустическое влияние громкоговорителя на блок конденсаторов переменной емкости или на другие детали гетеродина, в том числе на лампу	Амортизация вибрирующих деталей и громкоговорителя, замена ламп гетеродина и детектора
„Капающий" звук	Обрыв или чрезмерное сопротивление цепи управляющей сетки одной из ламп	Устранение обрыва, замена испорченных сопротивлений
Беспрерывный вой в батарейном приемнике	Самовозбуждение усилителя низкой частоты из-за истощения анодной батареи	Включение между зажимами батареи конденсатора 2—10 *мкф*

Для обнаружения очага самовозбуждения пригоден способ поочередной проверки каскадов, изъятием предшествующих очагу самовозбуждения ламп. Если, например, самовозбуждение не прекращается при вынимании всех ламп высокочастотной части приемника вплоть до последнего каскада усиления промежуточной частоты, а при вынимании входной лампы усилителя низкой частоты пропадает, то паразитная связь в этом случае обусловлена воздействием какой-либо цепи на входную цепь низкочастотного каскада.

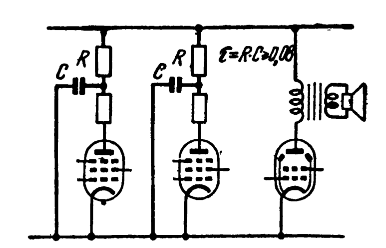
Важно выявить не только, на какую цепь действует нежелательное влияние, но и какая цепь производит это влияние. Для этого применим способ изменения реактивности последующих цепей, который заключается в том, что к анодным нагрузочным сопротивлениям ламп, начиная с выхода приемника, присоединяется поочередно конденсатор большей или меньшей емкости, и так постепенно приближаются к очагу самовозбуждения, который обнаруживается по изменению частоты самовозбуждения или по полному его прекращению. Предположим, что присоединение конденсатора к выходному трансформатору уменьшило только громкость, не изменив характера самовозбуждения. Это значит, что оконечный каскад не охвачен самовозбуждением, и цепь, создающую нежелательное воздействие на вход усилителя, надо искать до него. Но, если, например, при подключении конденсатора параллельно первичной обмотке выходного трансформатора самовозбуждение снимается или изменяется его характер, то или эта цепь, или последующая (цепь вторичной обмотки выходного трансформатора) оказывают влияние на входную цепь усилителя. Определив, между какими двумя цепями происходит вредное взаимодействие, нетрудно внимательным осмотром их монтажа найти место взаимосвязи и экранированием или частичным изменением монтажа этих цепей устранить самовозбуждение.

Самовозбуждение на высокой частоте да-

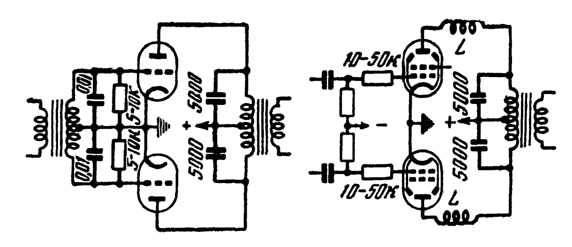
леко не всегда проявляется в виде постоянно слышимого в громкоговорителе постороннего звука, чаще о нем можно судить по наличию



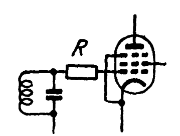
Фиг. 7-105. Электронно-оптический индикатор
1 — короткий щуп; *2* — шланг питания; *3* — колебаний нет; *4* — колебания есть.



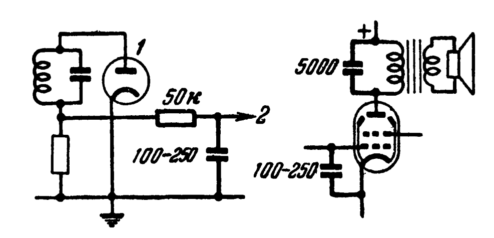
Фиг. 7-106. Устранение „моторного" шума.



Фиг. 7-107. Устранение самовозбуждения в двухтактном каскаде усилителя низкой частоты.
L=10÷50 витков реостатной проволоки.



Фиг. 7-108. Включение защитного сопротивления.
Сопротивление *R* надо располагать у ввода сетки (в каскадах высокой и промежуточной частоты *R*= 300÷5 000 *ом* и в каскаде низкой частоты *R*=10÷200 *ком* и в каскаде гетеродина *R*=100÷500 *ом*).



Фиг. 7-109. Предотвращение высокочастотной обратной связи от каскада низкой частоты.
1 — детектор; *2* — к усилителю низкой частоты.

громких свистов при настройке на станцию или по характерным искажениям, резкому снижению громкости и другим специфическим особенностям. Обнаружить такое самовозбуждение можно с помощью лампового вольтметра или электронно-оптического индикатора (фиг. 7-105), которые присоединяют последовательно ко всем колебательным контурам исследуемых каскадов.

В табл. 7-12 даны сводка наиболее часто встречающихся видов самовозбуждения и меры борьбы с ними.

12. НАСТРОЙКА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ

Основные правила настройки контуров. О необходимости подстройки колебательных контуров приемника при условии, что в нем устранены повреждения, искажающие режим ламп или обусловленные наличием паразитных связей, можно судить по несоответствию градуировки шкалы настройки, пониженной или неравномерной по диапазонам чувствительности и плохой избирательности.

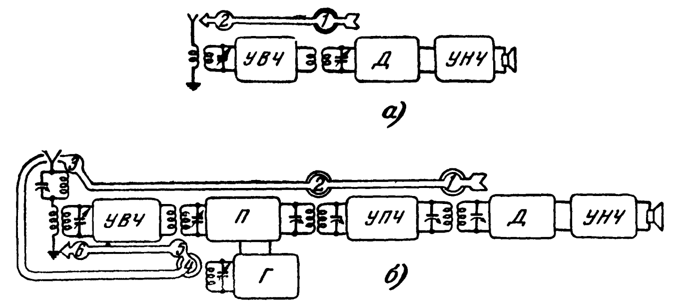
Единой схемы для настройки контуров приемников различных типов не существует, но при всякой подстройке их различают четыре основные операции: 1) настройка одного или нескольких контуров на какую-либо фиксированную частоту (в каскадах промежуточной частоты, контурах заграждающих фильтров и в приемниках с фиксированной настройкой); 2) согласование резонанса между одновременно настраивающимися несколькими контурами (в приемниках прямого усиления и в супергетеродине); 3) сопряжение кривой настройки с градуировкой шкалы и 4) регулировка избирательности приемника. Все ли или только некоторые из этих операций подлежат выполнению, зависит от типа приемника.

У приемников прямого усиления различают антенный или входной контуры, контуры усилителя высокой частоты и контур детектора с обратной связью или без нее, а у супергетеродинных приемников — высокочастотные контуры (перед преобразователем частоты), контур гетеродина и контуры промежуточной частоты (последний из них — контур детектора). Кроме того, во многих приемниках имеются заграждающие контуры, включенные обычно сразу за антенным гнездом.

Сильно расстроенный приемник подстраивают, начиная с контура детектора, а затем, последовательно приближаясь к антенне, настраивают все прочие контуры. У супергетеродинных приемников контур гетеродина настраивают до подстройки контуров, стоящих перед преобразователем частоты. Контуром, определяющим градуировку, в приемнике пря-

мого усиления является контур детектора (особенно при наличии в нем обратной связи), а в супергетеродине — совместно контур гетеродина и контуры усилителя промежуточной частоты. Входные контуры (перед преобразователем частоты) подстраивают последними в соответствии с полученной градуировкой шкалы (фиг. 7-110).

Для подстройки контуров необходим высокочастотный источник напряжения, частоту которого можно было бы устанавливать по возможности точно. Это может быть генератор



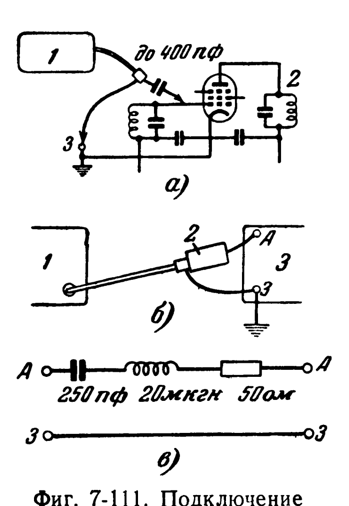
Фиг. 7-110. Порядок настройки контуров приемника прямого усиления (*а*) и супергетеродина (*б*).

УВЧ — усилитель высокой частоты; *Д* — детектор; *УНЧ*—усилитель низкой частоты; *П* — преобразователь; *Г*—гетеродин; *УПЧ* — усилитель промежуточной частоты.
Двумя кружочками обведены номера контуров, определяющих градуировку шкалы настройки приемника.

стандартных сигналов, сигнал-генератор или самодельный генератор. Присоединяя сигнал-генератор к подлежащим подстройке контурам, надо помнить, что они нагружаются соединительными проводами, расстраиваются и увеличивают свое затухание. Поэтому напряжение высокой частоты следует всегда подавать на управляющую сетку лампы, предшествующей подстраиваемому контуру (фиг. 7-111,*а*), а при подстройке антенного контура — на гнездо антенны (фиг. 7-111,*б*) через эквивалент антенны (фиг. 7-111,*в*) или в крайнем случае через конденсатор емкостью 300—400 *пф*.

В усилителе промежуточной частоты для подстройки в каждом контуре имеется либо подстроечный конденсатор, либо подвижной сердечник в катушке. Их устанавливают в такое положение, при котором поданный от генератора сигнал промежуточной частоты, свойственной данному приемнику, усиливается больше всего. В большинстве приемников промежуточная частота равна 460—465 *кгц*. Если она неизвестна, то при ввернутом наполовину сердечнике или подстроечном конденсаторе контуров изменяют частоту сигнал-генератора до тех пор, пока не наступит резонанс. При этом рекомендуется накоротко замкнуть гетеродинный контур для подавления его колебаний. В некоторых супергетеродинах применяется промежуточная частота 110—115 *кгц* или 1 600 *кгц*. При наличии только двух контуров промежуточной частоты наряду с элементами настройки контуров часто имеется регулируемая обратная связь, которую при подстройке контуров надо устанавливать почти на границе возникновения колебаний (свиста).

Для подстройки колебательных контуров высокой частоты в каждом контуре каждого



Фиг. 7-111. Подключение генератора сигналов.

а — к управляющей сетке лампы (*1* — сигнал-генератор, *2* — настраиваемый контур); *б* — к гнезду антенны (*1* — сигнал-генератор, *2* — эквивалент антенны, *3* — приемник); *в* — эквивалент антенны.

диапазона волн обычно имеются два элемента (подстроечный конденсатор и подвижной сердечник), но в целях упрощения конструкции некоторые приемники в коротковолновом или длинноволновом диапазонах снабжены только одним элементом подстройки. Сколько предусмотрено элементов подстройки и к какому диапазону каждый из них принадлежит, наиболее просто определить, проверяя прохождение сигнала и осторожно вращая элементы подстройки, причем следует отмечать исходное их положения, так как неосмотрительным регулированием легко окончательно разладить работу приемника.

Различаются следующие этапы подстройки контуров: 1) подстройка индуктивности катушек, 2) подстройка параллельных подстроечных конденсаторов и 3) подстройка последовательных подстроечных конденсаторов.

Так как для всех диапазонов волн применяется общий блок конденсаторов переменной емкости, то для подстройки начальных емкостей для каждого диапазона имеется под-

строечный конденсатор, включенный параллельно соответствующей катушке контура. Эта подстройка производится при почти совершенно выведенном роторе конденсатора, когда стрелка шкалы указывает наивысшие частоты данного диапазона. На шкалах приемников иногда указываются частоты настроек контуров соответствующими пометками. Наиболее распространенными точками подстройки в начале диапазона являются на средних волнах 1 350 *кгц* и на длинных — 400 *кгц*.

Подстройка индуктивности больше всего влияет на градуировку в конце шкалы, а потому ее надо производить при почти полностью введенном роторе конденсатора, т. е. при низших частотах диапазона. В приемниках, гетеродинный контур которых снабжен, кроме того, регулируемым последовательным подстроечным конденсатором, подстраивать индуктивности надо при среднем положении ротора конденсатора, а последовательный подстроечный конденсатор — в области низших частот диапазона, т. е. при введенном приблизительно на $^4/_5$ роторе конденсатора переменной емкости. Обычными точками подстройки в конце диапазона является на средних волнах 600 *кгц* и на длинных — 160 *кгц*.

При этих основных правилах подстройка контуров производится в такой последовательности: 1) механическая и электрическая подготовка приемника, 2) присоединение к приемнику сигнал-генератора и контрольного прибора (измерителя выхода) и 3) настройка контуров.

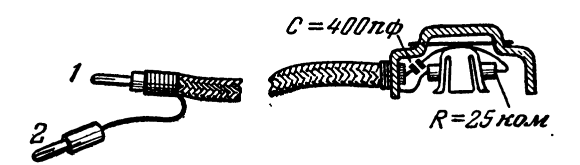
Механическая и электрическая подготовка. Важнейшим делом перед настройкой контуров является выверка конденсатора переменной емкости: его неподвижные и вращающиеся пластины должны верхними своими краями лежать на одной линии, что можно проверить, приложив к ним линейку и т. п. Проверка эта производится при максимальной емкости, т. е. при введенном полностью роторе. Затем нужно проверить соединение стрелки шкалы с приводным механизмом, чтобы она при крайнем своем положении совпадала с крайней отметкой, нанесенной на шкале, либо при отсутствии такой отметки при обоих крайних положениях ротора конденсаторов отклонялась от концов шкалы симметрично. Регулятор громкости приемника надо установить приблизительно на $^4/_5$ полной громкости, а регулятор тембра — в положение наибольшего пропускания высоких тонов. Если приемник имеет устройство для регулирования ширины полосы пропускаемых частот, то оно должно быть установлено на самую узкую полосу. В приемниках, имеющих АРУ, последнее должно быть временно выключено. Для этого линию регулирующего напряжения нужно прервать и отрицательное напряжение на регулируемые лампы подать помимо нее. Разумеется, надо также убедиться в механической исправности настраиваемых контуров (отсутствии замыканий между пластинами статора и ротора конденсаторов переменной емкости, целости катушек и исправности переключателя диапазонов).

Сам приемник должен быть расположен на столе так, чтобы доступ ко всем элементам подстройки и к сеточным цепям настраиваемых каскадов был достаточно свободен. Некоторые приемники для этой цели приходится вынимать из ящика.

Подключение сигнал-генератора и измерителя выхода. Подключение налаживаемого приемника к генератору производится всегда через конденсатор или искусственную антенну (фиг. 7-111,*в*), которая представляет собой электрический эквивалент нормальной антенны и воссоздает реальный режим работы входных контуров приемника. Кроме того, конденсатор или искусственная антенна разобщают приемник и генератор в отношении постоянного тока и предотвращают короткие замыкания или утечку в цепях питания электродов ламп приемника. Экранирующая оболочка кабеля от сигнал-генератора должна быть соединена с корпусами или зажимами заземления как приемника, так и генератора. Перед каждой подстройкой генератор должен быть установлен на ту частоту, на которую данный контур приемника подстраивается. Подводимое к подстраиваемым контурам напряжение высокой частоты всегда должно быть возможно меньше, чтобы, с одной стороны, не перегрузить лампы, а с другой — чтобы по измерителю выхода можно было следить за повышением чувствительности. Если чувствительность при подстройке возрастает, то следует снизить подаваемое высокочастотное напряжение.

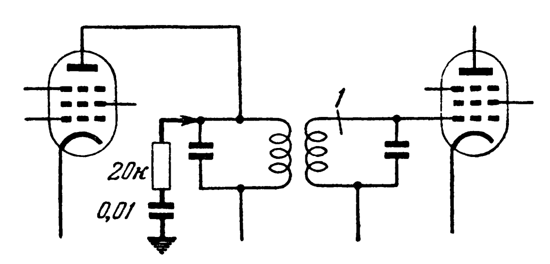
При модулируемом генераторе можно подстраивать приемник на слух, но подстройка получается более точной, если за ней следить по включенному параллельно к громкоговорителю вольтметру звуковой частоты или какому-либо другому индикатору. Для присоединения таких индикаторов очень удобны имеющиеся в некоторых приемниках гнезда для второго громкоговорителя. Для увеличения отклонений стрелки измерителя выхода его следует присоединять к первичной обмотке вы-

ходного трансформатора, а не ко вторичной. Чтобы при этом не нагружать измеритель выхода постоянным анодным током выходной лампы, его надо включать через конденсатор емкостью 0,2—2 *мкф*.



Фиг. 7-112. Колпачок для присоединения генератора к лампе.
1 — к генератору сигналов; 2 — к гнезду заземления приемника.

Подстройка контуров. *Контуры промежуточной частоты.* Сигнал от генератора подается к управляющей сетке смесительной лампы. Если вывод сетки находится на баллоне лампы, то применяется специальный сеточный колпачок (фиг. 7-112). Находящееся в нем сопротивление, вводимое между выводами сетки и экранирующей оболочкой, предотвращает скопление отрицательного заряда на сетке.

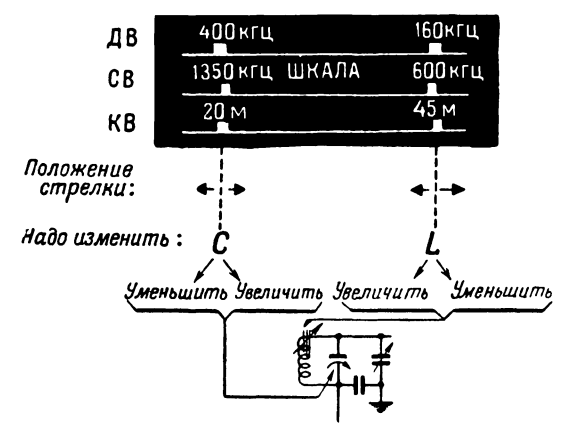


Фиг. 7-113. Настройка полосового фильтра.
1 — настраиваемый контур.

Если подводимое напряжение недостаточно для подстройки всего усилителя сразу (при сильных расстройках), то генератор надо сначала присоединить к сетке последней лампы усилителя промежуточной частоты. Регулирование подстроечных конденсаторов или сердечников катушек в контурах промежуточной частоты начинают с последнего (детекторного) контура и ведут в обратном направлении вплоть до контура, включенного в анодную цепь смесителя. После их подстройки измеритель выхода должен показывать максимальную величину сигнала.

Полосовые фильтры подстраивают, искусственно увеличивая затухание в том из контуров настройки, образующих трансформатора промежуточной частоты, который в данный момент не подстраивается. Для этого служит сопротивление около 20 *ком*, соединенное последовательно с емкостью 10 000 *пф*. Емкость заземляют, а сопротивление соединяют с концом контура, присоединенным к лампе (фиг. 7-113). Подстройку отдельных контуров, образующих полосовой фильтр, многократно повторяют, всякий раз внося затухание в контур, который в данный момент не настраивают.

Меняя частоты генератора, настраивают заграждающий контур промежуточной частоты на входе приемника. Кабель от генератора присоединяют к антенному гнезду через искусственную антенну. Настройка заграждающего контура производится на минимальное выходное напряжение приемника.



Фиг. 7-114. Схема подстройки контуров гетеродина.

Подстройка гетеродина. Для этого генератор соединяют с управляющей сеткой смесительной лампы. Обычно подстройку начинают с коротких волн, затем переходят к средним и в заключение к длинным волнам.

В пределах отдельных диапазонов волн начинают подстройку с подгонки начальной емкости (фиг. 7-114). Стрелку шкалы приемника ставят вблизи наивысшей частоты настраиваемого диапазона и затем устанавливают соответственно частоту сигнал-генератора. Вращая вправо или влево винт параллельного подстроечного конденсатора, добиваются слышимости сигнал-генератора. При подстройке индуктивности стрелка шкалы должна стоять почти на самой низкой частоте диапазона. На эту же частоту настраивают генератор и, подстраивая индуктивность, добиваются слышимости сигнал-генератора. Настройка индуктивности изменяет, разумеется, установку частоты в начале диапазона, следовательно, надо снова вернуться к подстройке начальной емкости. Это повторяют до тех пор, пока не будет достигнуто соответствие шкалы и в начале, и в конце диапазона. Если индуктивность гетеродинного контура не имеет передвижного сердечника, то градуировка в конце диапазона

(на низших частотах) регулируется последовательным подстроечным конденсатором контура. Если же гетеродинный контур снабжен тремя элементами для подстройки, то, как уже указывалось, на высших частотах подстройка производится параллельным, на низших — последовательным подстроечными конденсаторами, а индуктивностью подгоняется середина шкалы.

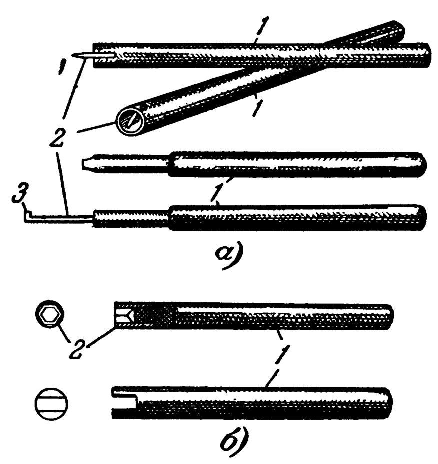
В мало расстроенных приемниках удается подстроить гетеродин заодно с входным контуром, но надо помнить, что градуировку определяет контур гетеродина.

Подстройка контуров перед преобразователем частоты. Сигнал-генератор присоединяется через искусственную антенну к гнезду антенны приемника и устанавливается поочередно на те же частоты, при которых подстраивался гетеродин. Получаемый на выходе сигнал надо довести до полной громкости поочередной подстройкой емкостей и индуктивностей входного контура. Если имеется несколько высокочастотных контуров, то их подстройку начинают с наиболее удаленного от антенны контура, подстраивая сначала емкость (в начале диапазона), потом индуктивность (в конце диапазона). При недостаточности даваемого генератором напряжения кабель генератора подключают сначала не к антенному гнезду, а к управляющей сетке лампы, расположенной перед настраиваемым контуром, ближе ко входу приемника.

Подстройка в коротковолновом диапазоне. На коротких волнах подстройка супергетеродинного приемника затрудняется тем обстоятельством, что зеркальная частота становится довольно близкой к частоте приема. Поэтому при подстройке нужно определять, принимается ли данный сигнал по основному каналу или зеркальному. Зеркальная частота равна сумме удвоенной промежуточной и основной частоте. Если, например, подстройка производится на волну 20 *м* (15 *мгц*), а промежуточная частота равна 465 *кгц*, то частота зеркального канала равна $15 + (2 \cdot 0{,}465) = 15{,}93$ *мгц*.

Для контроля правильности установленной частоты подают сигнал от генератора на управляющую сетку смесительной лампы, настраивают приемник на этот сигнал и затем, изменяя частоту генератора, проверяют, какую еще частоту приемник воспринимает при данной настройке. Если эта вторая частота окажется ниже первоначально принятой, то это значит, что сначала приемник был настроен на зеркальный канал, и для приема первой частоты по основному каналу приемник придется перестроить на более короткую (по шкале приемника) волну. После подстройки входного контура, когда сигнал-генератор соединен с антенным гнездом приемника, зеркальная частота должна быть слышна слабее. Отношение требующегося входного напряжения при зеркальной частоте ко входному напряжению при основной частоте для получения одной и той же выходной мощности называют избирательностью приемника по зеркальному каналу.

Заметим, что для подстройки контуров необходим специальный инструмент из бронзы



Фиг. 7-115. Инструменты для подстройки контуров.

а — изолированные отверстия (*1* — текстолитовая ручка, *2* — латунь или бронза; *3* — расклепать и заточить); *б* — ключи (*1*—текстолитовая ручка; *2* — тонкая латунная трубка).

или латуни с ручками из изоляционного материала. Набор такого инструмента показан на фиг. 7-115.

Неисправности, обнаруживаемые при настройке контуров. При подстройке колебательных контуров можно встретиться с рядом специфических неисправностей.

Контур обладает большим затуханием. Эта неисправность выражается в том, что резонанс получается очень тупым, каскад с таким контуром не дает заметного усиления и сильная перестройка контура мало изменяет показания измерителя выхода. Причиной этому служит ухудшение качества какой-либо из входящих в контур деталей (конденсатора, сердечника, катушки) и устранить ее удается иногда только последовательной заменой каждой из деталей неисправного контура.

Контур не подстраивается на заданную частоту предусмотренными для подстройки контура элементами; например, при вращении сердечника в катушке контура промежуточной частоты не удается получить максимальное показание измерителя выхода. Это говорит

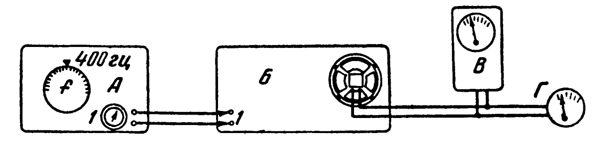
о слишком сильной расстройке контура. Причиной этого может быть механическое повреждение катушки или монтажа контура, а иногда — несоответствие емкости имеющегося в контуре конденсатора. Если грубых неисправностей незаметно, то для подстройки контура нужно заменить подстроечный конденсатор. Также настраивают и сильно расстроенные гетеродинные контуры, подбирая в начале диапазона параллельную, а в конце — последовательную подстроечные емкости.

На отдельных участках диапазона пропадает прием станций. Если имеет место полное прекращение приема на отдельных участках шкалы, то такое явление может быть следствием двух причин: 1) замыкание пластин ротора и статора (конденсатора переменной емкости), — тогда на данном участке шкалы прекращается прием независимо от диапазона; 2) срыв генерации гетеродина из-за низкой добротности его контура, — тогда прекращение приема на различных диапазонах происходит в общем случае в разных точках шкалы. Неисправность второго рода наиболее часто случается в конце коротковолнового диапазона. Она может быть вызвана уменьшением крутизны характеристики гетеродинной лампы, понижением рабочих напряжений на ее электродах (в том числе понижением напряжения накала, например, из-за падения напряжения в длинных и недостаточно толстых соединительных проводах цепи накала), но чаще всего такая неисправность вызывается увеличением угла потерь последовательного подстроечного конденсатора. Наряду с другими средствами устранения «провалов» в гетеродине может применяться как исключение усиление обратной связи (сближение катушки обратной связи с контурной катушкой или увеличением числа витков в первой катушке).

13. ИСПЫТАНИЕ ПРИЕМНИКОВ И УСИЛИТЕЛЕЙ

Предварительное замечание. Под испытанием приемно-усилительной аппаратуры понимают определение основных качественных показателей и снятие ее характеристик. При ремонте и изготовлении радиоаппаратуры не всегда возникает необходимость в проведении полных качественных испытаний, но при повышенных требованиях к аппаратуре или для официального оформления паспорта радиоаппарата все же в ряде случаев необходимо производство детальных испытаний. Если в ходе испытаний выясняется, что отдельные параметры аппарата не удовлетворяют поставленным требованиям, то это может явиться основанием для дополнительного налаживания аппарата.

Основные испытания каскадов низкой частоты. *Номинальная выходная мощность* определяется максимальным значением подведенной к громкоговорителю электрической мощности, при которой нелинейные искажения не превышают заранее заданной величины. Мерилом этого служит допускаемый на частоте 400 *гц* коэффициент нелинейных искажений $K_{иск}$. Для приемников 3-го и 4-го классов $K_{иск}=10\%$, для приемников 2-го класса $K_{иск}=7\%$ и для приемников 1-го класса $K_{иск}=5\%$. Если приемник не отнесен к определенному классу, то при отсутствии указаний можно допускать $K_{иск}=10\%$.



Фиг. 7-116. Измерение выходной мощности.

А — генератор колебаний звуковой частоты (*1* — регулятор выхода); *Б* — усилитель низкой частоты или приемник (*1* — вход звукоснимателя); *В* — измеритель коэффициента нелинейных искажений; *Г* — вольтметр переменного тока.

Измерение выходной мощности усилителя производится при подаче на его вход чистого синусоидального напряжения с частотою 400 *гц* (фиг. 7-116). Подобрав величину этого напряжения так, чтобы измеренный на выходе коэффициент $K_{иск}$ равнялся обусловленной для приемников данного класса величине, измеряют напряжение $U_{вых}$ на звуковой катушке громкоговорителя и ее сопротивление Z при частоте 400 *гц*. Тогда мощность определяют по формуле

$$P_{вых}=\frac{U^2_{вых}}{Z_{гр}}, \qquad (7\text{-}41)$$

где $Z_{гр}$ — полное сопротивление звуковой катушки громкоговорителя на частоте 400 *гц*.

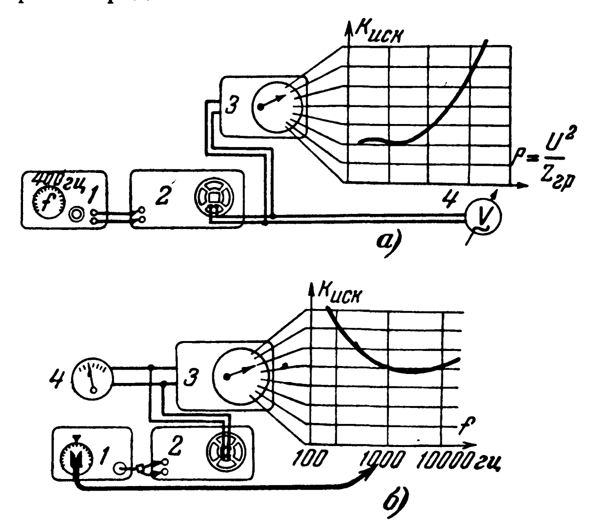
Если $Z_{гр}$ неизвестно, то можно положить $Z_{гр}=1{,}2R_{гр}$, где $R_{гр}$ — сопротивление звуковой катушки громкоговорителя постоянному току.

При отсутствии измерителя искажений определение номинальной выходной мощности затруднено, но с некоторым приближением для исправных усилителей можно считать, что в среднем при $K_{иск}=10\%$ выходная мощность составляет 60% от максимально возможной мощности. Таким образом, определив наибольшую выходную мощность при заведомо

большом выходном напряжении, можно принять номинальную мощность равной 0,6 от этой предельной.

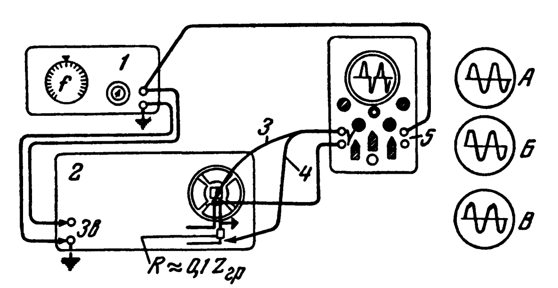
Нормальная выходная мощность, при которой определяются все качественные показатели усилителей и приемников, равна 10% от номинальной, т. е.

$$P_{норм} = 0{,}1\,P_{вых}. \qquad (7\text{-}42)$$



Фиг. 7-117. Определение коэффициента нелинейных искажений $K_{иск}$.

а — в зависимости от выходной мощности *P*; *б* — в зависимости от частоты (при $0{,}1P_{вых}$). *1* — генератор низкой частоты; *2*—усилитель низкой частоты; *3* — измеритель $K_{иск}$; *4* — измеритель выхода.



Фиг. 7-118. Применение осциллографа для исследования нелинейных искажений.

1 — генератор низкой частоты; *2* — приемник или усилитель низкой частоты; *3* — для исследования формы кривой напряжения; *4* — для исследования формы кривой тока; *5* — синхронизация; *Зв* — вход звукоснимателя.

А — искажения незаметны ($K_{иск}$<3%); *Б*—незначительные искажения ($K_{иск}$= 3÷7%); *В* — заметные искажения ($K_{иск}$= 10÷15% и больше).

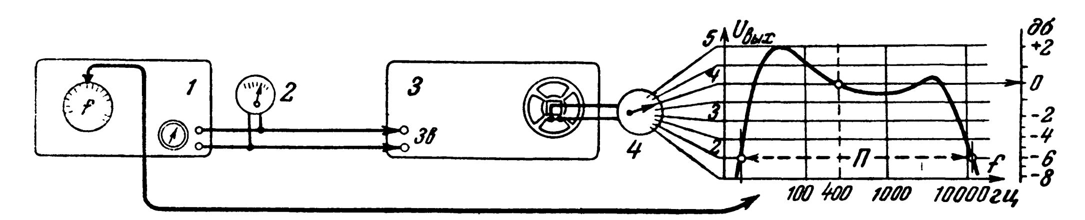
Нелинейные искажения определяются величиной искажений при различных значениях выходной мощности (фиг. 7-117,*а*). Испытания производят на частоте 400 *гц* по той же схеме, что и определение номинальной выходной мощности. Кроме того, снимают характеристику нелинейных искажений при нормальной мощности в зависимости от частоты (фиг. 7-117,*б*). О нелинейных искажениях можно также судить по показаниям электронного осциллографа, развертывая на его экране получающееся на выходе усилителя напряжение при подаче на вход последнего синусоидальных колебаний от звукового генератора (фиг. 7-118). При всех осциллографических исследованиях надо сначала проверять на осциллографе форму подаваемых от генератора колебаний, чтобы в случае неисправности генератора не отнести искажения кривой тока на счет исследуемого аппарата.

Снятие частотной характеристики усилителя поясняет фиг. 7-119. Регулятор громкости при этом должен быть установлен в положение наибольшей громкости, а регуляторы тембра — на пропускание полной полосы частот. Установив частоту звукового генератора на 400 *гц*, подводимое ко входу усилителя, напряжение подбирают регулятором уровня генератора так, чтобы на выходе усилителя получилась нормальная выходная мощность; вольтметр на выходе при этом должен показывать напряжение

$$U_{норм} = \sqrt{\frac{P_{вых}\cdot Z_{гр}}{10}}, \qquad (7\text{-}43)$$

где $P_{вых}$ — номинальная выходная мощность (при $K_{иск} = 10\%$).

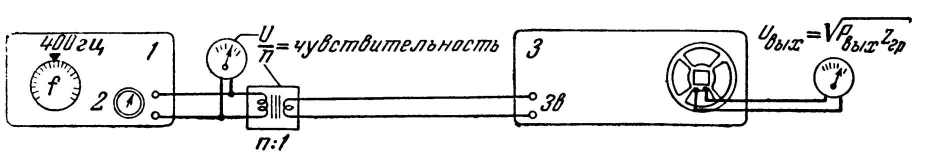
По измерителю выхода звукового генератора замечают, какой при этом потребовался



Фиг. 7-119. Снятие частотной характеристики усилителя низкой частоты.

1 — генератор низкой частоты; *2* — контроль напряжения (неизменного) на входе для получения при 400 *гц* на выходе $0{,}1P_{вых}$; *3* — усилитель низкой частоты или приемник; *4* — измеритель выхода; *Зв* — вход звукоснимателя.

уровень сигнала. Поддерживая этот уровень, перестраивают генератор в диапазоне частот от 20—30 *гц* до 10—15 *кгц* и отмечают, как изменяется при различных частотах напряжение на выходе усилителя. По полученным данным строят график, по горизонтальной оси которого откладываются частоты, а по вертикальной — выходные напряжения или мощности (фиг. 7-119). Весьма распространено вертикальную ось градуировать в децибелах, причем уровень на частоте 400 *гц* обозначают нулем, вверх от него откладывают положительные значения уровней (+ *дб*), а вниз — отрицательные (— *дб*). Разумеется, от того, какими единицами обозначается вертикальная ось, не зависит форма кривой, полученной описанным выше способом. Перевод напряжений в децибелы при постоянной нагрузке см. на стр. 50—51.



Фиг. 7-120. Измерение чувствительности усилителя низкой частоты или приемника (с гнезд звукоснимателя).

1 — генератор низкой частоты; *2* — регулятор выхода; *3* — усилитель низкой частоты или приемник; *Зв* — вход звукоснимателя.

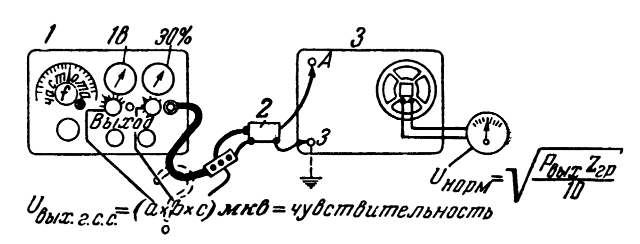
Иногда снимают таким же способом дополнительные частотные характеристики при различных установках регуляторов тембра.

Полосой пропускания частот называют пределы частот, между которыми усиление по напряжению уменьшается вдвое (или в децибелах — на 6 *дб*) относительно усиления на частоте 400 *гц*. Полоса пропускаемых частот (*П* на графике фиг. 7-119) легко определяется из частотной характеристики усилителя.

Чувствительность усилителя или чувствительность входа приемника определяется напряжением сигнала при частоте 400 *гц*, которое необходимо подать на вход усилителя низкой частоты для получения номинальной выходной мощности (фиг. 7-120). Так как это напряжение обычно измеряется десятыми или даже сотыми долями вольта и непосредственно измерить его трудно, то напряжение ко входу усилителя подают с помощью точного делителя напряжения (например, магазина образцовых сопротивлений) или через понижающий трансформатор с известным коэффициентом трансформации. К делителю же или трансформатору подается от звукового генератора напряжение, которое точно может быть измерено ламповым или иным вольтметром переменного тока. Зная, во сколько раз уменьшено подведенное ко входу усилителя напряжение, легко определить и чувствительность усилителя.

При измерении чувствительности регулятор громкости должен быть поставлен в положение наибольшей громкости, а регуляторы тембра — на полную полосу пропускаемых частот. Напряжение на выходе в соответствии с номинальной выходной мощностью должно быть $U_{вых} = \sqrt{P_{вых} Z_{гр}}$.

Основные испытания радиоприемников. *Диапазон принимаемых приемником волн* устанавливается с помощью сигнал-генератора определением частот, принимаемых радиоприемником на краях шкалы настройки на каждом диапазоне. Определяя крайние частоты коротковольнового диапазона, надо проследить, как это указывалось на стр. 199, чтобы принимаемая частота не была зеркальной. Следует отметить, что в инструкциях заводских радиоприемников указывается неполный диапазон принимаемых волн: крайние частоты его оказываются не на самых краях шкалы,



Фиг. 7-121. Измерение чувствительности приемника.

1 — генератор стандартных сигналов (ГСС-6); *2* — эквивалент антенны; *3* — приемник.

а несколько отступя от них. При испытании таких приемников важнее проверить совпадение истинной настройки с градуировкой шкалы, что достаточно делать на каждом диапазоне в двух точках, отступя на $^1/_5$ шкалы от начала и конца ее.

Чувствительность приемника выражается напряжением высокой частоты, которое надо подать на вход приемника, чтобы получить на его выходе нормальную мощность $(0{,}1 P_{вых})$. Для определения чувствительности приемника к его антенному гнезду через эквивалент антенны подается от генератора стандартных сигналов напряжение высокой частоты, модулированное напряжением с частотой 400 *гц* при глубине модуляции 30% (фиг. 7-121).

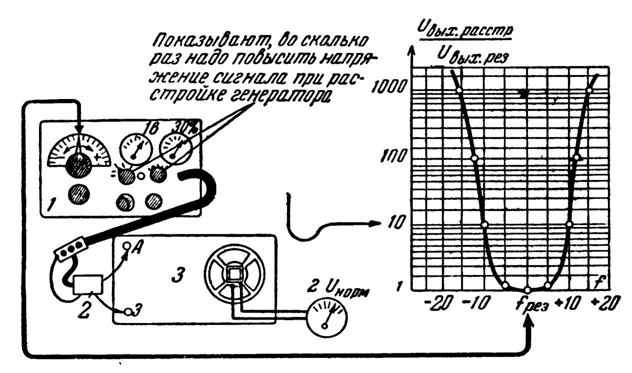
При отсутствии нормального эквивалента антенны можно, ухудшив точность измерений, включить один конденсатор на 250 *пф* (на средних и длинных волнах) или одно сопротивление на 250 *ом* (на коротких волнах). Настраивая затем точнейшим образом приемник на подаваемую от генератора частоту, изменяют аттенюатором выходное напряжение генератора, пока при полностью введенном регуляторе громкости приемника выходная мощность ее не составит $0{,}1P_{вых}$. Чувствительность приемника определяется перемножением числа микровольт, отсчитанных на шкале плавного аттенюатора, на коэффициенты, набранные переключателем и делителем выходного напряжения генератора стандартных сигналов.

Чувствительность приемника на различных диапазонах и в разных частях одного и того же диапазона в общем случае неодинакова, поэтому измерение чувствительности производят многократно на различных частотах. Слишком сильное изменение чувствительности при переходе с одного диапазона на другой или при перестройке приемника в пределах одного диапазона указывает на плохое сопряжение высокочастотных контуров и гетеродинного контура или на неисправность высокочастотных контуров.

Избирательность определяет способность приемника отстраиваться от радиостанций, работающих на волне, близкой к волне принимаемой радиостанции. Для измерения избирательности нужен генератор стандартных сигналов с достаточно подробной шкалой частот или с градуированным верньером, так как при этом измерении важна возможность незначительно изменять частоту генератора в одну и другую сторону от выбранной и определять расстройку с точностью до десятых долей килогерца. Для этой цели вполне подходит генератор типа ГСС-6; у него ручка установки частоты снабжена градуированным верньером, по делениям шкалы которого можно в любой точке избранного диапазона определить расстройку при повороте верньера на одно деление (делением изменения частоты при полном обороте ручки верньера на число делений шкалы верньера).

Сначала органы управления приемника и генератора ставят в положение наибольшей громкости и наибольшей полосы частот, затем приемник настраивают в резонанс на выбранную частоту генератора стандартных сигналов и достигают показания прибором на выходе приемника величины $U_{норм}$. После этого даваемое генератором стандартных сигналов напряжение повышают настолько, чтобы напряжение на выходе приемника возросло вдвое, т. е. было $2U_{норм}$.

Далее, с помощью аттенюатора повышают амплитуду входного сигнала еще в 2 раза и, расстраивая генератор в одну и другую сторону от резонанса, замечают, насколько надо расстроить генератор для получения на выходе приемника прежнего напряжения $2U_{норм}$ (при том же положении органов управления приемником). Разность между полученными при этом двумя частотами (выше резонансной и ниже резонансной) называется полосой пропускаемых частот высокочастотной части приемника. Затем, повышая напряжение сиг-



Фиг. 7-122. Снятие кривой избирательности.
1 — генератор стандартных сигналов; *2* — эквивалент антенны; *3* — приемник.

нала в 5, 10, 20, 500, 1 000 и более раз, всякий раз замечают частоты, на которых приемник дает прежнее выходное напряжение, т. е. $2U_{норм}$ (фиг. 7-122). По этим данным строится график зависимости отношения напряжений сигналов от расстройки, который называется кривой избирательности. Часто по вертикальной оси вместо отношения амплитуды сигнала при расстройке к амплитуде сигнала при резонансе откладывается необходимое повышение уровня сигнала в децибелах.

Избирательность приемника часто выражают числом, показывающим, во сколько раз необходимо повысить уровень входного сигнала при расстройке генератора на 10 *кгц* от резонансной частоты приемника. В этом случае нет необходимости строить кривую избирательности. После установки всех приборов на резонансной частоте сразу же расстраивают генератор стандартных сигналов на 10 *кгц* и определяют, во сколько раз надо повысить напряжение сигнала для получения прежнего выходного напряжения ($2\,U_{норм}$) на выходе приемника. Полученное отношение напряже-

ний входных сигналов можно перевести в децибелы (см. стр. 50—51).

Избирательность, как и чувствительность приемника, не одинакова на различных диапазонах и частотах. На коротковолновом диапазоне избирательность хуже. Обычно избирательность измеряют на каждом диапазоне в одной (посередине шкалы) или двух точках (у начала и конца шкалы).

При измерении избирательности у приемников, снабженных системой АРУ, эту систему на время измерения надо выключать, обеспечивая, однако, поступление постоянного сеточного смещения на управляющие сетки регулируемых ею ламп.

У приемников с переменной полосой пропускания частот избирательность определяется на самой узкой полосе.

Избирательность приемника от сигнала с промежуточной частотой. Избирательность приемника от сигнала, частота которого равняется промежуточной частоте, оценивается отношением напряжения сигнала принимаемой частоты к напряжению сигнала с промежуточной частотой, дающих каждый из них на выходе приемника нормальную выходную мощность ($0{,}1 P_{вых}$). Эта избирательность зависит от контуров высокой частоты и от наличия заградительного контура в цепи антенны, настроенного на промежуточную частоту, и обычно (при промежуточной частоте порядка 445—480 *кгц*) она особенно плоха в конце средневолнового и в начале длинноволнового диапазонов, где частота контуров высокой частоты приближается к промежуточной частоте, а потому получаются наиболее благоприятные условия для проникновения сигналов этой частоты. Поэтому целесообразнее всего определять рассматриваемую избирательность в двух этих наиболее опасных точках. Для этого сначала измеряют чувствительность приемника на избранной частоте, а затем перестраивают генератор стандартных сигналов на промежуточную частоту и, не сбивая органов управления приемником, определяют на ней чувствительность приемника. Отношение напряжения первого (полезного) сигнала к напряжению второго (сигнала помехи) и выражает собой избирательность приемника от сигнала промежуточной частоты.

Нужно иметь в виду, что ряд радиовещательных станций работает на частотах ровно вдвое меньших, чем применяемая в супергетеродинах промежуточная частота, так что вторая гармоника этих станций совпадает с промежуточной частотой. Поэтому эксплуатация приемника с плохой избирательностью от сигнала с промежуточной частотой в городах, где работают такие радиостанции, становится невозможной.

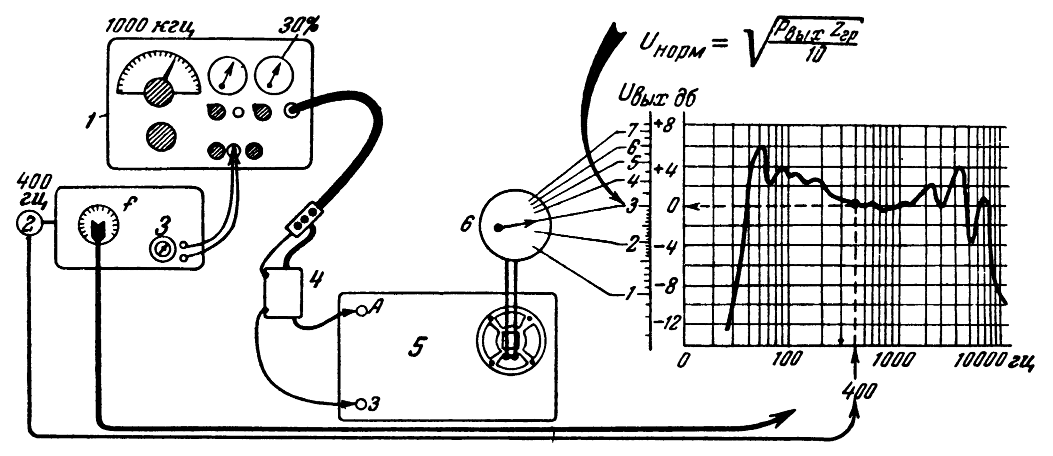
Избирательность по зеркальному каналу. На коротких волнах вероятность одновременного приема станций, работающих на основной и зеркальной частотах, сильно возрастает. Понятно, что одновременный прием двух каналов частот сопровождается накладками программ и свистом за счет биений между несущими частотами одновременно принимаемых радиостанций, ухудшая качество приема. Поэтому избирательность по зеркальному каналу является также немаловажным параметром супергетеродинного радиоприемника. Она измеряется отношением напряжения полезного сигнала (основной частоты) к напряжению сигнала помехи (зеркальной частоты) при неизменной настройке приемника и одинаковой нормальной выходной его мощности. Наихудшая избирательность по зеркальному каналу получается на самой высокой частоте диапазона принимаемых волн (в начале коротковолнового поддиапазона), где и важнее всего ее измерять.

Характеристика верности или сквозная частотная характеристика приемника представляет частотную характеристику, учитывающую искажения, вносимые не только низкочастотной частью приемника, но и всеми предшествующими его каскадами, начиная от антенны. Снимается она так же, как и частотная характеристика усилителя низкой частоты, но звуковой генератор присоединяется не ко входу усилителя, а к генератору стандартных сигналов (в качестве внешнего модулятора). Последний же, настроенный в резонанс с приемником, присоединяется к гнезду его антенны через эквивалент антенны (фиг. 7-123). При этом АРУ в приемнике не выключается, регуляторы тембра и полосы становятся в положение, соответствующее наиболее широкой полосе пропускаемых частот, а регулятор громкости должен становиться на наибольшую громкость.

Испытание надо производить при заведомо завышенном напряжении сигнала (чтобы избавиться от влияния помех), а в то же время выходная мощность (при частоте модуляции 400 гц) должна составить $0{,}1 P_{вых}$. При таких условиях у достаточно чувствительных приемников обычно оказывается невозможным установить регулятор громкости в положение наибольшей громкости. Во время всего испытания надо следить за тем, чтобы генератор стандартных сигналов и приемник были точно настроены в резонанс (обычно на 1 000 *кгц*), напряжение несущей оставалось постоянным и глубина модуляции была равна 30%.

К основным испытаниям приемников, снабженных усилителями низкой частоты, кроме описанных здесь относятся и все изложенные выше основные испытания низкочастотных каскадов.

Дополнительные испытания приемно-усилительной аппаратуры. *Расход энергии* по цепям питания определяется активной потребляемой радиоприбором мощностью.



Фиг. 7-123. Снятие характеристики верности.

1 — генератор стандартных сигналов; *2* — генератор звуковой частоты; *3* — регулятор выхода; *4* — эквивалент антенны; *5* — приемник; *6* — измеритель выхода.

Генератор стандартных сигналов устанавливают так, чтобы при модуляции в 30% и частоте 400 *гц* выходная мощность составила $0{,}1P_{вых}$. В дальнейшем изменяют только низкую частоту и поддерживают регулятором выхода генератора глубину модуляции в 30%.

Измерение активной мощности производится предназначенными для этого ваттметрами. При отсутствии таковых измеряются напряжение U сети от источника питания и потребляемый прибором ток I. Тогда при постоянном токе мощность прибора $P = UI$, а при переменном токе $P = 0{,}8UI$, где 0,8 — среднее значение коэффициента мощности радиоприбора. Мощность P должна учитывать и мощность $P_a = U_a I_a$ в анодной цепи и мощность $P_н = U_н I_н$ в цепи накала, причем U_a и $U_н$ должны соответствовать номинальным напряжениям источников питания для данного аппарата. Измерения производят дважды: при отсутствии сигнала и при наличии его.

Коэффициент фона обычно измеряют при отсутствии сигнала на входе приемника или усилителя, для чего гнезда для антенны и заземления (у приемников) или гнезда входа (у усилителей низкой частоты) замыкают накоротко и измеряют напряжение фона $U_ф$ на звуковой катушке громкоговорителя при полностью введенном регуляторе громкости. Если это напряжение отнести к напряжению, получающемуся при номинальной выходной мощности, и умножить на 100, то получим коэффициент фона (в процентах)

$$K_ф = \frac{U_ф}{\sqrt{P_{вых} \cdot Z_{гр}}} \cdot 100. \qquad (7\text{-}44)$$

Вместо коэффициента фона иногда указывают уровень фона в децибелах.

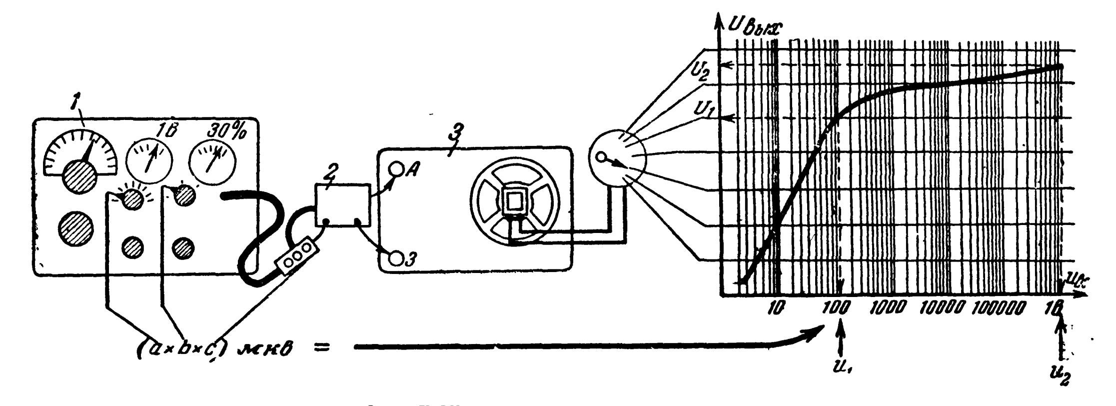
Испытание системы АРУ (фиг. 7-124) производится обычно при изменении напряжения входного сигнала от его значения, соответствующего чувствительности приемника, до значения 100 000 *мкв* (0,1 *в*). Сначала от генератора подают сигнал с наибольшим напряжением (0,1 *в*) и, настроив приемник точно в резонанс, регулятором громкости устанавливают напряжение на выходе приемника, соответствующее номинальной мощности ($0{,}1\ P_{вых}$). Затем, уменьшая напряжение сигнала в 10, 100 и т. д. раз, записывают всякий раз величину выходного напряжения приемника. По мере приближения напряжения сигнала к величине чувствительности приемника, его начинают уменьшать менее резко (в 5, затем в 2 раза).

По полученным данным строится график зависимости выходного напряжения приемника от напряжения сигнала на входе. Этот график выражается обычно кривой линией с более или менее явно выраженным переломом. Точка перелома соответствует началу работы системы АРУ.

Отметив на полученном графике величины входных сигналов u_1 (в точке перегиба) и u_2 (в конце снятой характеристики), а также соответствующие им выходные напряжения U_1 и U_2, определяют, во сколько раз увели-

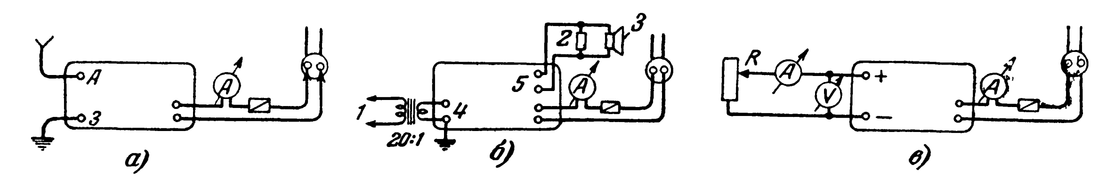
чивается выходное напряжение $\frac{U_2}{U_1}$ при увеличении входного напряжения в $\frac{u_2}{u_1}$ раз. Это отношение в достаточной мере характеризует работу системы АРУ. Обычно у супергетеродинов 2-го класса получается трехкратное

останавливаться на них. Мы также сознательно опускаем дальнейшее описание разнообразных осциллографических испытаний радиоаппаратуры, которые еще не вошли в повседневную практику радиомастерских, ограничиваясь изложенными ранее сведениями (см. § 5 этой главы).



Фиг. 7-124. Испытание системы АРУ.

1 — генератор стандартных сигналов; 2 — эквивалент антенны; 3 — приемник.



Фиг. 7-125. Продолжительные испытания радиоаппаратуры.

а — приемника; б — усилителя низкой частоты (1 — городская трансляционная сеть, 2 — нормальное нагрузочное сопротивление, 3 — контрольный громкоговоритель, 4 — вход усилителя, 5— выход усилителя); в — выпрямитель (R — нормальное нагрузочное сопротивление).

изменение выходного напряжения $\left(\frac{U_2}{U_1} = 3\right)$ при изменении входного напряжения в 500 раз ($u_1 = 200$ *мкв* и $u_2 = 100\,000$ *мкв*).

Отношения $\frac{U_2}{U_1}$ и $\frac{u_2}{u_1}$ часто выражают в децибелах, показывая, на сколько децибел повышается уровень сигнала на выходе при повышении уровня входного сигнала на 60 (у супергетеродинов 1-го класса) или на 26 *дб* (у прочих приемников). 60 *дб* соответствует повышению входного напряжения $\frac{u_2}{u_1}$ в 1 000 раз, а 26 *дб* — в 20 раз.

Кроме описанных испытаний радиоприемники могут подвергаться испытаниям на стабильность частоты настройки, на влияние колебаний питающего напряжения, а также колебаний температуры, на тряску (передвижная аппаратура, устанавливаемая на транспорте) и другим специфическим испытаниям. Но в условиях радиомастерской эти испытания, как правило, не производятся, и мы не будем

Укажем, однако, на форму испытания, весьма полезную для отремонтированной или вновь смонтированной аппаратуры, заключающуюся в **продолжительном испытании** радиоаппарата в работе.

При таком испытании любой радиоприбор включается в работу при нормальной нагрузке на несколько часов, а иногда на несколько суток (фиг. 7-125). При этом следить за работой радиоприемника или усилителя низкой частоты можно без помощи специальных приборов (к генераторам или приборам питания достаточно присоединить вольтметр или амперметр, показания которых надо периодически записывать). Если в процессе продолжительного испытания в работе радиоаппарат не изменил своих качеств, о чем можно судить по короткому заключительному испытанию, и никаких неисправностей в нем не обнаруживалось, то это является почти полной гарантией того, что данный радиоаппарат обеспечит при нормальных условиях его эксплуатации надежную работу в течение длительного времени.

* * *

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

РАДИОМАСТЕРСКАЯ

Единой схемы организации радиомастерских не существует, так как она определяется предполагаемым масштабом производства, поставленными перед ней задачами, условиями помещения и т. п. Поэтому ниже дана только в общих чертах примерная схема организации мастерской средних размеров, задачей которой является проверка, обнаружение неисправностей и ремонт радиоприемников и усилителей.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИОМАСТЕРСКОЙ

Прежде всего надо организовать прием аппаратуры. Помещение для приема изделий, оно же и для выдачи их после ремонта, должно находиться перед помещением мастерской. Записывать принимаемые изделия целесообразно в порядке очередных номеров, которым помечаются как их ремонтные паспорта, так и приемные квитанции. На каждый принятый в ремонт аппарат целесообразно заполнять ремонтный паспорт, в который помимо типа приемника и его заводского номера записывают также лампы, доставленные с ним вместе, и прочие запасные принадлежности. Хранить принятые приборы нужно на стеллажах, полки которых имеют высоту, подходящую к нормальной высоте приемников, и глубокие настолько, чтобы по ширине полки устанавливался только один прибор. Целесообразно ставить приборы задней стенкой вперед и прикреплять к ним с этой стороны ярлыки с четко различимыми ремонтными номерами.

С полок хранения приборы в порядке ремонтных номеров поступают в мастерскую и прежде всего проходят предварительное испытание. По данным предварительного испытания можно своевременно заказать или выписать нужные для замены детали, недостача которых может задержать ремонт. Кроме того, предварительное испытание покажет, нужно ли для выполнения необходимых ремонтных работ разбирать прибор или достаточно для приведения его в исправность сменить лампы или устранить мелкие неисправности, не требующие демонтажа (смена предохранителя, сеточных проводов и т. п.).

После предварительного испытания приборы поступают для обнаружения неисправностей. В небольшой радиомастерской оно может быть объединено с местом радиоремонта, но в большой мастерской должно состоять из ряда специальных одинаково оборудованных рабочих мест. Дальнейшее подразделение ремонтных работ в больших мастерских можно представить в виде устройства особых рабочих мест для механического ремонта, мест для разборки и сборки приемников, мест для смены деталей, для настройки контуров и т. д. Здесь, очевидно, потребуются полки для хранения пустых ящиков и демонтированных для ремонта деталей, причем каждая из демонтированных частей должна быть помечена одним и тем же ремонтным номером. После ремонта и сборки производится заключительное испытание (там же, где было произведено предварительное испытание), а затем прибор поступает на хранение и после калькуляции на основании записей в ремонтном паспорте (израсходование материалов, времени и т. д.) стоимости ремонта подготавливается к выдаче или отсылке.

Естественно, что специфика задач, стоящих перед планируемой мастерской, может заставить отступить от такой схемы и организовать мастерскую в соответствии с местными обстоятельствами.

2. ОБОРУДОВАНИЕ РАДИОМАСТЕРСКОЙ

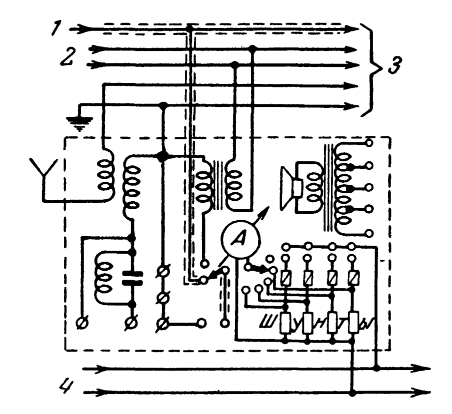
Разнообразие и количество инвентаря и технического оснащения определяются размерами проектируемой или расширяемой мастерской.

Рабочие столы для производства ремонтных работ должны быть достаточно прочны. Рабочие места должны быть выбраны по возможности так, чтобы при дневном свете не было надобности в дополнительном освещении. Каждое рабочее место, кроме общего освещения, должно располагать настольной или стенной лампой, приспособленной для освещения в любых направлениях. Хорошее, в меру яркое освещение является непременным условием каждой работы.

Необходимы также распределительный силовой щиток и установка для получения различных напряжений постоянного и переменного тока (трансформатор, выпрямитель с делителем напряжения и т. п.). Если в мастерской применяются умформеры, то они должны быть установлены в соседнем или подвальном помещении, чтобы не вызывать в рабочем помещении электрических и звуковых помех.

Отдельные рабочие места снабжаются необходимыми при ремонте аппаратуры электрическими устройствами и инструментальным

ящиком с инструментами, надобность в которых обнаружилась на опыте (отвертки, ключи, плоскогубцы, пинцеты и др.).

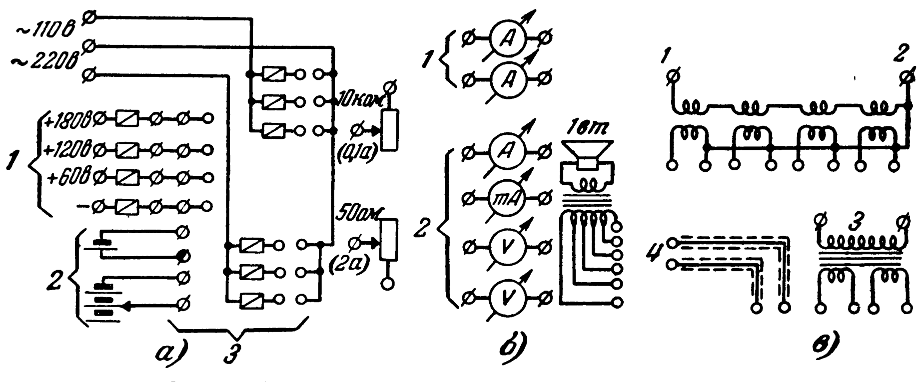


Фиг. 8-1. Схема распределительного щитка.

1 — от звукоснимателя; *2* — от трансляционной сети; *3*—к следующему рабочему месту; *4* — электросеть.

Для испытательных работ пригодны любые столы (конторские, письменные и т. п.), особенно если места для них отведены посреди помещения. В их боковых ящиках удобно хранить ручной инструмент, небольшие измерительные приборы, необходимые при испытаниях детали, справочники, схемы и книги.

Оборудовать ли рабочее место, где произ-



Фиг. 8-2. Схема оборудования стола для продолжительного испытания радиоаппаратуры.

а — схема распределения питания (*1* — от аккумуляторов или выпрямителя, *2* — местные батареи накала, *3* — зажимы и гнезда для включения аппаратуры); *б* — контрольные приборы (*1* — приборы переменного тока; *2*—приборы постоянного тока); *в*—схема подачи сигнальных напряжений (*1*—антенна, *2*—земля, *3*— трансляционная сеть, *4* — от звукоснимателя).

водятся испытания, щитками, на которых сосредоточены все необходимые приборы, или отдавать предпочтение отдельным измерительным приборам — дело личного вкуса и опыта. Чаще предпочитают пользоваться разрозненными приборами, так как их легко заменять и ремонтировать. Щитки же большей частью служат для подачи на рабочее место токов и напряжений. На таких распределительных щитках (фиг. 8-1) монтируют гнездо, к которому подведен отвод от антенны, заградительный фильтр для ослабления сигналов местных радиостанций и еще одно антенное гнездо, присоединенное после этого фильтра, несколько гнезд для заземления, испытательный громкоговоритель с секционированным выходным трансформатором, отводы от которого подведены к маркированным гнездам, гнезда, к которым подведено испытательное напряжение звуковой частоты для проверки усилителей (от трансляционной сети или граммофонного проигрывателя) и силовые штепсельные розетки для постоянного и переменного тока с предохранителями, подключаемые при помощи переключателя к установленному тут же ваттметру или амперметру.

Кроме рабочего места для предварительного испытания в мастерской устраивается, по крайней мере, два специальных измерительно-испытательных стола, на одном из которых сосредоточивается измерительная аппаратура для испытания отдельных деталей (мосты, испытатель ламп, измеритель емкости, мегомметр и т. п.), а на другом — аппаратура для испытания и налаживания приемников (высокочастотный и низкочастотный генераторы, ламповый вольтметр, граммофонный проигрыватель и т. п.). Полезно также иметь специальный стол (фиг. 8-2), для продолжительных испытаний (испытательный стенд) с необходимыми для подачи питания гнездами и отводами антенны и заземления.

Помещение для механических ремонтных работ должно быть изолировано от общего помещения радиомастерской. В нем устанавливаются станки и верстаки и производятся все механические слесарные работы. Кроме того, должно быть предусмотрено безопасное в пожарном отношении помещение для хранения огнеопасных материалов (ацетон, лаки, спирт и т. п.).

При мастерской должен быть склад запасных материалов.

Минимальное техническое оснащение рабочего места для радиоремонта состоит из распределительного щитка вышеописанного типа, универсального вольтмиллиамперметра и набора монтажных инструментов (паяльник, пинцет, отвертки, плоскогубцы и кусачки).

Для ремонта радиоаппаратуры необходим следующий минимум измерительных приборов: 1) сигнал-генератор, 2) комбинированный вольтмиллиамперметр на постоянный и переменный ток (он же измеритель выхода) с возможно меньшим потреблением тока и 3) амперметр переменного тока до 2 *а*. Кроме того, необходим элементарный набор инструмента для подстройки и ремонта, проигрыватель, контрольный громкоговоритель и щиток питания. Затем при первой же возможности необходимо приобрести генератор низкой частоты, ламповый вольтметр и осциллограф.

Перечисленная аппаратура может быть самодельной, так как особенно высокой точности для целей ремонта от нее не требуется (конструкции, доступные для самостоятельного изготовления, неоднократно описывались в брошюрах «Массовой радиобиблиотеки» и на страницах журнала «Радио»).

По мере увеличения объема работ мастерской нужно расширить ее оборудование, как радиотехническое, так и механическое.

Ниже даются примерные списки желательного оборудования радиомастерской и отдельных рабочих мест.

А. Инвентарь мастерской. 1. Рабочие столы с выдвижными ящиками. 2. Письменные (конторские) столы для испытательно-измерительных целей. 3. Стеллажи и полки для хранения ремонтируемой аппаратуры. 4. Инструментальный шкаф. 5. Шкаф для запасных деталей и материалов с полками и выдвижными ящиками (на внутренней стороне дверей шкафа укрепляется список хранящихся деталей). 6. Шкаф книжный или стойка для папок, схем и справочной литературы. 7. Стенные или настольные лампы. 8. Общий распределительный щит и устройство, снабжающее все рабочие места постоянным и переменным током (силовой пульт).

Б. Оборудование места предварительного испытания аппаратуры. 1. Распределительный щиток. 2. Универсальный вольтмиллиамперметр или комплект заменяющих его приборов с пределами измерения 6—60—600 *в*, 6—30—150 *ма* и 1—10^3—10^6 *ом*. 3. Ваттметр на 100 *вт* или амперметр переменного тока на 1—2 *а*. 4. Граммофонный проигрыватель. 5. Комплект инструмента (отвертки 2, 3 и 5 *мм*, изолированный пинцет, войлочная подстилка 400 × 600 *мм* и резиновый молоточек).

В. Оборудование места для нахождения неисправностей. 1. Распределительный щиток. 2. Генератор высокой частоты с точной градуировкой. 3. Генератор низкой частоты с регулируемым выходным напряжением для возможности проверки отдельных низкочастотных каскадов. 5. Подводка от граммофонного проигрывателя. 6. Вспомогательный усилитель низкой частоты с детекторным каскадом (например, на лампах 6Г7 и 6П6С). 7. Электронно-оптический индикатор колебаний. 8. Прибор постоянного тока с пределами измерений до 300 *ма* и до 600 *в*. 9. Вольтметр переменного тока с несколькими шкалами до 600 *в*. 10. Ваттметр или амперметр для постоянного и переменного тока на 1—2 *а*. 11. Омметр с несколькими шкалами для измерений в пределах от 1 *ом* до 5 *мгом*. 12. Высокоомный вольтметр для измерений в сеточных цепях (ламповый вольтметр постоянного тока). 13. Магазин сопротивлений и конденсаторов. 14. Головной телефон. 15. Комплект отверток 2, 3, 5 и 10 *мм*. 16. Плоскогубцы. 17. Бокорезы или кусачки. 18. Пинцеты (в том числе изолированный). 19. Щипцы для зачистки изоляции проводов. 20. Паяльники (на 35—50 и 100—150 *вт*). 21. Кисти (плоская и круглая). 22. Резиновый молоток. 23. Войлочная подстилка 600 × 400 *мм*. 24. Комплект инструмента для настройки контуров (неметаллические торцовые ключи и отвертки, латунно-магнетитовый щуп). 25. Зубоврачебное зеркальце (для рассматривания недоступных мест). 26. Малая переносная лампочка.

Г. Измерительно-испытательный стол. 1. Генератор стандартных сигналов с диапазоном частот 100 *кгц* — 28 *мгц*. 2. Генератор синусоидальных колебаний низкой частоты с диапазоном частот 30 — 15 000 *гц* и выходной мощностью 3 — 5 *вт*. 3. Электронный осциллограф. 4. Измеритель выхода. 5. Высоковольтный измерительный прибор постоянного и переменного тока. 6. Градуированный конденсатор переменной емкости до 700 — 1 000 *пф*. 7. Испытатель ламп с таблицами испытания. 8. Мосты для измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей или один универсальный мост. 9. Мегомметр для испытания изоляции под высоким напряжением. 10. Микрофарадометр. 11. Комплект проверенных ламп наиболее применяемых типов. 12. Распределительный щиток.

Д. Оборудование радиоремонтного места. 1. Распределительный щиток. 2. Универсальный измерительный прибор (вольтмиллиамперметр). 3. Комплект отверток (2, 3, 4, 5 и 10 *мм*). 4. Плоскогубцы монтажные. 5. Круглогубцы. 6. Бокорезы или кусачки. 7. Монтерский нож. 8. Ножовка с запасными полотнами. 9. Дрель ручная с набором сверл 1—10 *мм*. 10. Набор напильников личных и надфилей. 11. Пинцеты (большой, малый и изолированный). 12. Щипцы для зачистки изоляции. 13. Два паяльника (35—50 *вт* и 100—150 *вт*). 14. Кисти (плоская и круглая). 15. Резиновый молоток. 16. Войлочная подстилка 600 × 400 *мм*. 17. Комплект гаечных ключей от 3 до 25 *мм*. 18. Зубоврачебное зеркальце. 19. Переносная лампочка или карманный фонарик. 20. Малый слесарный инструмент (зубило, кернер, чертилка, пробойник, молоток и т. п.).

Е. Оборудование механической мастерской. 1. Настольный электрический сверлильный станок. 2. Электрические дрели. 3. Токарный станок. 4. Шлифовальный станок с набором дисков шлифовальных, матерчатых, наждачных и проволочной щеткой. 5. Лобзик с запасом пилок. 6. Станок для намотки катушек для трансформаторов. 7. Станок для намотки катушек «универсаль». 8. Большой электрический паяльник на 300 *вт* или бензиновый паяльник. 9. Паяльная лампа. 10. Комплект спиральных сверл. 11. Метчики (2; 2,6; 3; 3,5; 4; 5 *мм*) с воротком. 12. Плашки (2; 2,6; 3; 3,5; 4; 5 *мм*) с клуппом. 13. Тиски параллельные настольные (поворотные). 14. Ручные тисочки. 15. Наборы различных напильников и надфилей. 16. Мехи или пылесос. 17. Штангенциркули (150 и 250 *мм*). 18. Молотки (100 и 500 *г*). 19. Метелка для сметания пыли и опилок. 20. Ножницы для жести. 21. Рихтовальная плита. 22. Угольник стальной. 23. Комплект перок для дерева (3—15 *мм*). 24. Кронциркуль и нутромер. 25. Резьбомеры. 26. Метр металлический. 27. Разметочный циркуль. 28. Зубила. 29. Кернеры. 30. Ножовка с запасом полотен. 31. Проволочная щетка. 32. Фигурные (угловые, призматические и пр.) вставки для тисков и упоры из различных материалов. 33. Наждачная бумага разных номеров. 34. Олово и канифольный флюс. 35. Ацетон, четыреххлористый углерод, лак цапон, щеллак, спирт, канифоль, нашатырь, травленая кислота, мел.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Латинский и греческий алфавит

Латинский

A, a (а)
B, в (бэ)
C, c (цэ)
D, d (дэ)
E, e (е)
F, f (эф)
G, g (гэ жэ)
H, h (аш),
I, i (и)
J, j (йот, жи)
K, k (ка)
L, l (эль)
M, m (эм)
N, n (эн)
O, o (о)
P, p (пэ)
Q, q (ку)
R, r (эр)
S, s (эс)
T, t (тэ)
U, u (у)
V, v (вэ)
W, w (дубль-вэ)
X, x (икс)
Y, y (игрек)
Z, z (зэт)

Греческий

A, α (альфа)
B, β (бэта)
Γ, γ (гамма)
Δ, δ (дельта)
E, ε (эпсилон)
Z, ζ (дзета)
H, η (эта)
Θ, θ, ϑ (тэта)
I, ι (иота)
K, κ (каппа)
Λ, λ (лямбда)
M, μ (мю)
N, ν (ню)
Ξ, ξ (кси)
O, o (омикрон)
Π, π (пи)
P, ρ (ро)
Σ, σ, ς (сигма)
T, τ (тау)
Υ, υ (ипсилон)
Φ, φ (фи)
X, χ (хи)
Ψ, ψ (пси)
Ω, ω (омега)

Приложение 2

Таблица элементарных алгебраических функций

n	$\frac{1}{n}$	n^2	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10n}$	n^3	n	$\frac{1}{n}$	n^2	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10n}$	n^3
1,0	1,00	1,00	1,00	3,16	1,00	3,5	0,286	12,25	1,87	5,92	42,9
1,1	0,909	1,21	1,05	3,32	1,33	3,6	0,278	13,0	1,90	6,00	46,7
1,2	0,833	1,44	1,10	3,46	1,73	3,7	0,270	13,7	1,92	6,08	50,6
1,3	0,769	1,69	1,14	3,61	2,20	3,8	0,263	14,4	1,95	6,16	54,9
1,4	0,714	1,96	1,18	3,74	2,74	3,9	0,256	15,2	1,98	6,24	59,3
1,5	0,667	2,25	1,22	3,87	3,38	4,0	0,250	16,0	2,00	6,32	64,0
1,6	0,625	2,56	1,26	4,00	4,10	4,1	0,244	16,8	2,02	6,40	68,9
1,7	0,588	2,89	1,30	4,12	4,91	4,2	0,238	17,6	2,05	6,48	74,1
1,8	0,556	3,24	1,34	4,24	5,83	4,3	0,233	18,5	2,07	6,56	79,5
1,9	0,526	3,61	1,38	4,36	6,86	4,4	0,227	19,4	2,10	6,63	85,2
2,0	0,500	4,00	1,41	4,47	8,00	4,5	0,222	20,25	2,12	6,71	91,1
2,1	0,476	4,41	1,45	4,58	9,26	4,6	0,217	21,2	2,14	6,78	97,3
2,2	0,454	4,84	1,48	4,69	10,6	4,7	0,213	22,1	2,17	6,86	104
2,3	0,435	5,29	1,52	4,80	12,2	4,8	0,208	23,0	2,19	6,93	111
2,4	0,417	5,76	1,55	4,90	13,8	4,9	0,204	24,0	2,21	7,00	118
2,5	0,400	6,25	1,58	5,00	15,6	5,0	0,200	25,0	2,24	7,07	125
2,6	0,385	6,76	1,61	5,10	17,6	5,1	0,196	26,0	2,26	7,14	133
2,7	0,370	7,29	1,64	5,20	19,7	5,2	0,192	27,0	2,28	7,21	141
2,8	0,357	7,84	1,67	5,29	22,0	5,3	0,189	28,1	2,30	7,28	149
2,9	0,345	8,41	1,70	5,38	24,4	5,4	0,185	29,2	2,32	7,35	158
3,0	0,333	9,00	1,73	5,48	27,0	5,5	0,182	30,25	2,34	7,42	166
3,1	0,323	9,61	1,76	5,57	29,8	5,6	0,179	31,4	2,37	7,48	176
3,2	0,312	10,2	1,79	5,66	32,8	5,7	0,175	32,5	2,39	7,55	185
3,3	0,303	10,9	1,82	5,75	35,9	5,8	0,172	33,6	2,41	7,62	195
3,4	0,294	11,6	1,84	5,83	39,3	5,9	0,170	34,8	2,43	7,68	205

n	$\frac{1}{n}$	n^2	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10n}$	n^3
6,0	0,167	36,0	2,45	7,75	216
6,1	0,164	37,2	2,47	7,81	227
6,2	0,161	38,4	2,49	7,87	238
6,3	0,159	39,7	2,51	7,94	250
6,4	0,156	41,0	2,53	8,00	262
6,5	0,154	42,25	2,55	8,06	275
6,6	0,152	43,6	2,57	8,12	288
6,7	0,149	44,9	2,59	8,18	301
6,8	0,147	46,2	2,61	8,25	314
6,9	0,145	47,6	2,63	8,31	328
7,0	0,143	49,0	2,65	8,37	343
7,1	0,141	50,4	2,66	8,43	358
7,2	0,139	51,8	2,68	8,48	373
7,3	0,137	53,3	2,70	8,54	389
7,4	0,135	54,8	2,72	8,60	405
7,5	0,133	56,25	2,74	8,66	422
7,6	0,132	57,8	2,76	8,72	439
7,7	0,130	59,3	2,78	8,78	456
7,8	0,128	60,8	2,79	8,83	475
7,9	0,127	62,4	2,81	8,89	493
8,0	0,125	64,0	2,83	8,94	512
8,1	0,124	65,6	2,85	9,00	531
8,2	0,122	67,2	2,86	9,06	551
8,3	0,120	68,9	2,88	9,11	572
8,4	0,119	70,6	2,90	9,16	593
8,5	0,118	72,25	2,92	9,22	614
8,6	0,116	74,0	2,93	9,27	636
8,7	0,115	75,7	2,95	9,33	658
8,8	0,114	77,4	2,97	9,38	682
8,9	0,112	79,2	2,98	9,43	705
9,0	0,111	81,0	3,00	9,49	729
9,1	0,110	82,8	3,02	9,54	754
9,2	0,109	84,6	3,03	9,59	779
9,3	0,108	86,5	3,05	9,64	804
9,4	0,106	88,4	3,07	9,70	831
9,5	0,105	90,25	3,08	9,75	857
9,6	0,104	92,2	3,10	9,80	885
9,7	0,103	94,1	3,11	9,85	913
9,8	0,102	96,0	3,13	9,90	941
9,9	0,101	98,0	3,15	9,95	970
10,0	0,100	100,0	3,16	10,00	1000

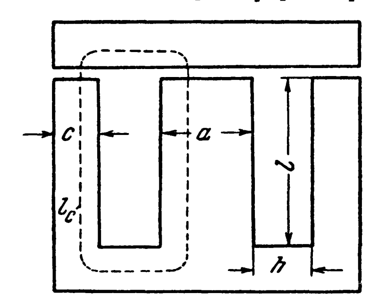
Приложение 3

Таблица тригонометрических функций

α	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$\operatorname{tg}\alpha$	$\operatorname{ctg}\alpha$	
0	0,000	1,000	0,000	∞	90
1	0,018	1,000	0,018	57,3	89
2	0,035	0,999	0,035	28,6	88
3	0,052	0,999	0,052	19,1	87
4	0,070	0,998	0,070	14,3	86
5	0,087	0,996	0,088	11,4	85
6	0,104	0,994	0,105	9,51	84
7	0,122	0,992	0,123	8,14	83
8	0,139	0,990	0,140	7,12	82
9	0,156	0,988	0,158	6,31	81
10	0,174	0,985	0,176	5,67	80
11	0,191	0,982	0,194	5,14	79
12	0,208	0,978	0,213	4,70	78
13	0,225	0,974	0,231	4,33	77
14	0,242	0,970	0,249	4,01	76
15	0,259	0,966	0,268	3,73	75
16	0,276	0,961	0,287	3,49	74
17	0,292	0,956	0,306	3,27	73
18	0,309	0,951	0,325	3,08	72
19	0,326	0,946	0,344	2,90	71
20	0,342	0,940	0,364	2,75	70
21	0,358	0,934	0,384	2,60	69
22	0,375	0,927	0,404	2,48	68
23	0,391	0,920	0,424	2,36	67
24	0,407	0,913	0,445	2,25	66
25	0,423	0,906	0,466	2,15	65
26	0,438	0,899	0,488	2,05	64
27	0,454	0,891	0,510	1,96	63
28	0,470	0,883	0,532	1,88	62
29	0,485	0,875	0,554	1,80	61
30	0,500	0,866	0,577	1,73	60
31	0,515	0,857	0,601	1,66	59
32	0,530	0,848	0,625	1,60	58
33	0,545	0,839	0,649	1,54	57
34	0,559	0,829	0,674	1,48	56
35	0,574	0,819	0,700	1,43	55
36	0,588	0,809	0,726	1,38	54
37	0,602	0,799	0,754	1,33	53
38	0,616	0,788	0,781	1,28	52
39	0,629	0,777	0,810	1,24	51
40	0,643	0,766	0,839	1,19	50
41	0,656	0,755	0,869	1,15	49
42	0,669	0,743	0,900	1,11	48
43	0,682	0,731	0,932	1,07	47
44	0,695	0,719	0,966	1,04	46
45	0,707	0,707	1,000	1,00	45
	$\cos\alpha$	$\sin\alpha$	$\operatorname{ctg}\alpha$	$\operatorname{tg}\alpha$	$\alpha°$

Приложение 4

Стандартные Ш-образные трансформаторные пластины



Тип пластин	a, *см*	c, *см*	h, *см*	l, *см*	S_o^*, *см*²	l_c, *см*	$l_{вит}^{**}$, *см*
Ш-10	1,0	0,65	0,65	1,8	1,17	5,7	6,8
Ш-12	1,2	0,8	0,8	2,2	1,76	6,7	8,2
Ш-14	1,4	0,9	0,9	2,5	2,35	7,9	9,6
Ш-16	1,6	1,0	1,0	2,8	2,8	9,0	11,0
Ш-19	1,9	1,2	1,2	3,35	4,0	10,6	13,0
Ш-20	2,0	1,0	2,0	5,0	10,0	17,1	14,0
Ш-25	2,5	1,25	2,5	6,25	15,6	21,4	20,0
Ш-30	3,0	1,0	1,9	5,3	10,0	16,9	21,0
Ш-32	3,2	1,6	3,2	8,0	25,6	27,4	25,4
Ш-35	3,5	2,2	2,2	6,15	13,5	19,8	24,0
Ш-40	4,0	2,2	3,0	7,0	21,0	28,0	26,0

* S_o — площадь окна.

** $l_{вит}$ — средняя длина одного витка обмотки при толщине пакета $b = 1,5\,a$.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Р

С

Т

Цена 12 р. 10 к.